

C3



Número: 354/2006
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA
DE RECURSOS MINERAIS

CHARLES SANTOS SILVA

INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL EM POSTO DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS
NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA-RJ

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Geociências.

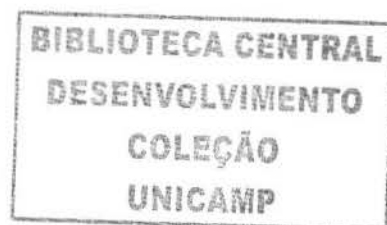
Orientador: Dr. Job Jesus Batista

Este exemplar corresponde à
redação final da tese defendida
por Charles Santos Silva
e aprovada pela Comissão Julgadora
em 29/08/2006

ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto - 2006



UNIDADE BC
Nº CHAMADA T/UNICAMP
Si38i
EX 71502
TOMBO BC 16-145-07
PROC. 16-145-07
C D x
PREÇO 11,00
DATA 22-02-07
BIB-ID 401328

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP**

Bibliotecário: Helena Joana Flipsen - CRB-8ª / 5283

Si38i

Silva, Charles Santos.

Investigação ambiental em posto de abastecimento de combustíveis no município de Seropédica-RJ / Charles Santos Silva. -- Campinas, SP : [s.n.], 2006.

Orientador: Job Jesus Batista.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Meio ambiente - Pesquisa. 2. Meio ambiente - Rio de Janeiro (RJ). 3. Aquíferos. I. Batista, Job Jesus. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Título e subtítulo em inglês: Environmental survey of a Seropédica city gas station, Rio de Janeiro State, Brazil.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Environment - Research, Environment - Rio de Janeiro (RJ), Aquifers.

Área de concentração: Administração e Política de Recursos Minerais.

Titulação: Mestre em Geociências.

Banca examinadora: Job Jesus Batista, Sueli Yoshinaga Pereira, Alexis Rosa Nummer

Data da Defesa: 29-08-2006.

Programa de Pós-Graduação em Geociências.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM
ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

AUTOR: CHARLES SANTOS SILVA

**INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL EM POSTO DE ABASTECIMENTO DE
COMBUSTÍVEIS NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA-RJ**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Job Jesus Batista


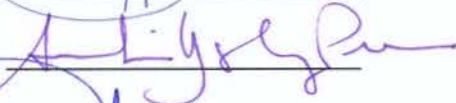
Aprovada em 29/08/06

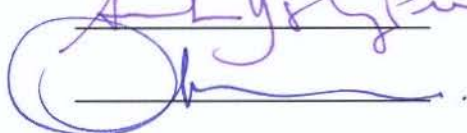
EXAMINADORES:

Prof. Dr. Job Jesus Batista

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Prof. Dr. Aléxis Rosa Nummer


_____- **Presidente**




Campinas, 29 de agosto de 2006

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Décio Tubbs Filho que me abriu muitos poços! (ou melhor... muitas portas).

Ao Dr. Job Jesus Batista orientação, incentivo, compreensão, hospitalidade e disposição!!!

Pai fã #1 Geraldo Ary *and Fátima thanks, thanks (_momma's gonna keep you right here under her wing!)* e querido super irmão que ninguém tem igual Peterson.

Nesta dissertação foram utilizados combustíveis (que em tese não representam nenhum risco ao meio ambiente ou aos bens a proteger): curiosidade, persistência e a sabedoria/companheirismo de: M.Sc. Mi Hallack caminho casa / UNICAMP + sorrisos e estes amigos que tornaram os dias como sempre devem ser: M.Sc. Juliano Mói, Janaina, Leandro K3M, Darlana, Heraldo, Francisco, Taciana, Thalles, Giovanna, Mário, Karina, Renato, Dante.

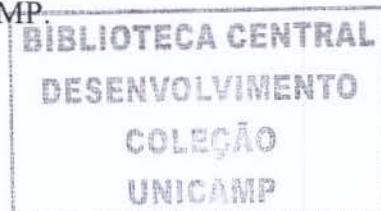
Acredito que meu valor de intervenção e destes amigos que me apoiaram ainda estão nos limites internacionalmente aceitos, entretanto sugiro uma investigação detalhada de cada caso... mas não recomendo tentar remediar nenhum (são perfeitos):

André, Cátia, Leo, Dione, Raul, Fabi, Heliásio, Aline, Hugo, Olga*10⁸, Eduardos: 97 e Irmão, Giselle*10⁸, Livia, Cris, Felipe, Angel, mestres colegas de classe: Job Filho, Sabrina, Eliane, César, Osvaldo. Tio_Paulo, M.Sc. Pigozzo, Samara, Dr. José Lenda Dias, Dr. T Benjamin + Keith + Bethoveen, Andréia, Renata, Zé Parda, Fabrício e Sol, Luciano Zetnut, Carla (K), Dra. Ana, Douglas, Ricardinho, Humberto, Elcio motorista IGE, Edinalva e Val secretárias pós-graduação IGE/UNICAMP.

Ao apoio e confiança durante toda pesquisa...

Magnífico Reitor da UFRuralRJ José Antônio de Souza Veiga, ao prefeito da universidade Sr. Josué e equipe da Divisão Guarda e Vigilância. Sinceras considerações aos Drs. Maria Hilde Barros Goes, Jorge Xavier da Silva, José Miguel Peters, Soraya Gardel, Alexis Nummer, Sergio Valente, Otávio Lã, Francisco Gerson Araújo, Sueli Yoshinaga, Jacinta Enzweiler, Bernardino Ribeiro de Figueiredo, Wilson Jardim.

Apoio financeiro: CNPq, FUNCAMP e Instituto de Geociências UNICAMP.



Whiskey is what you drink...Water is what we fight over!
U.S. Southwest Folksaying

SUMÁRIO

1.0 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Os acidentes nos postos de combustíveis e o meio ambiente	1
1.2 - Localização da área em estudo	5
2.0 - OBJETIVO GERAL	8
2.1 - Objetivos Específicos	8
3.0 - JUSTIFICATIVA	8
4.0 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4.1 - A contaminação das águas subterrâneas	9
4.2 - Acidentes ambientais nos postos de combustíveis - Histórico	13
4.3 - Os sistemas de armazenamento subterrâneo	17
4.4 - Acidentes ambientais nos postos de combustíveis	17
4.4.1 - Transbordamentos e Derramamentos	21
4.5 - Métodos para detecção de vazamentos em SASC's	22
4.6 - Classificação e universo de postos de combustíveis no Brasil	26
4.6.1 - Classificação do entorno	29
4.7 - Valores orientadores de qualidade	31
4.8 - O licenciamento ambiental dos postos de combustíveis	36
4.9 - Comportamento dos combustíveis em subsuperfície	39
4.10 - O efeito da adição de álcool na gasolina no Brasil.	55
4.12 - Hidrogeologia do município de Seropédica - RJ	57
4.12.1 - Sistema de Aquífero Fraturado	57
4.12.2 - Sistemas de Aquífero Piranema	63
4.13 - Vulnerabilidade a contaminação do aquífero	69
4.14 - Estabelecimento do risco de contaminação das águas subterrâneas	70

5.0 - MATERIAIS E MÉTODOS	73
5.1 - Processo de Identificação de Áreas Contaminadas:	78
5.1.1 - Identificação de Áreas Potencialmente Contaminadas	78
5.1.2 - Avaliação Preliminar	78
5.1.3 - Investigação Confirmatória	79
5.2 - Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas:	82
5.2.1 - Investigação Detalhada	82
5.3 - Vulnerabilidade do aquífero na área do posto de abastecimento	94
5.4 - Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas de Seropédica por postos de combustíveis	97
	99
6.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	
6.1 - Estudo de caso: O posto de abastecimento da UFRuralRJ	99
6.1.1 - Caracterização da área entorno	103
6.2 - Diagnóstico Ambiental do Posto de Abastecimento da UFRuralRJ.	109
6.2.1 - Compostos orgânicos voláteis (VOC) no solo	109
6.2.2 - Caracterização litológica	111
6.2.3 - Caracterização hidrodinâmica	116
6.2.4 - Análise da concentração de hidrocarbonetos no solo e água subterrânea	129
6.3 - Os postos de combustíveis do município de Seropédica-RJ	135
6.3.1 - Vulnerabilidade da área do posto da UFRuralRJ	136
	141
7.0 - CONCLUSÕES	
	144
8.0 - RECOMENDAÇÕES	
	147
9.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
	157
10.0 - ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	Possíveis conseqüências ambientais dos acidentes nos postos de combustíveis.	3
Figura 02:	Município de Seropédica-RJ e <i>campus</i> da UFRuralRJ (principais vias de acesso).	5
Figura 03:	Mecanismos de contaminação do solo e águas subterrâneas.	11
Figura 04:	Principais fontes de contaminação da água subterrânea nos Estados Unidos.	13
Figura 05:	Áreas contaminadas no estado de São Paulo. Distribuição por atividade.	15
Figura 06:	Contaminantes encontrados nas áreas contaminadas no estado de São Paulo.	15
Figura 07A:	Fonte dos acidentes ambientais nos postos revendedores do estado de São Paulo.	19
Figura 07B:	Produtos envolvidos nos acidentes ambientais nos postos do estado de São Paulo.	19
Figura 08:	Métodos para detecção de vazamentos nos SASC's.	23
Figura 09:	Diagrama de funcionamento do sistema proteção catódica por corrente impressa.	26
Figura 10:	Distribuição dos postos revendedores por regiões no Brasil.	27
Figura 10B	Distribuição dos postos revendedores na região sudeste.	27
Figura 11:	Comportamento dos hidrocarbonetos nos aquíferos de acordo com a densidade.	39
Figura 12:	Efeitos da variação do nível d'água no reposicionamento da fase residual.	47
Figura 13:	Fases das contaminações por combustíveis em subsuperfície.	53
Figura 14:	Mapa litológico do município de Seropédica - RJ.	59
Figura 15:	Perfil NW-SE dos aquíferos do município de Seropédica-RJ.	61
Figura 16:	Figura 16: Mapa geomorfológico do município de Seropédica-RJ.	65
Figura 17:	Esquema conceitual do risco de contaminação das águas subterrâneas.	71
Figura 18:	Fluxograma do método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas CETESB.	75
Figura 19:	Distribuição espacial das sondagens de reconhecimento.	80
Figura 20:	Distribuição espacial dos poços de monitoramento.	83
Figura 21:	Perfil esquemático e respectivos materiais empregados na construção dos PM's.	83
Figura 22:	Diagrama elétrico do medidor de nível.	85
Figura 23:	Medidor de nível d'água eletrônico desenvolvido.	87
Figura 24:	Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero - Método GOD.	95
Figura 25A:	Diagrama esquemático do posto com unidades de abastecimento e troca de óleo.	99
Figura 25B:	Distribuição espacial das bombas e tanques subterrâneos.	99
Figura 26:	Superfície altimétrica do terreno e sentido preferencial das águas superficiais.	103
Figura 27:	Caracterização da área entorno do posto de abastecimento.	105
Figura 28:	Distribuição das sondagens (1 m de profundidade) para a quantificação de VOC.	109

Figura 29:	Perfis construtivo e litológico dos poços de monitoramento.	113
Figura 30:	Potenciometria Janeiro 2006.	119
Figura 31:	Potenciometria Fevereiro 2006.	119
Figura 32:	Potenciometria Março 2006.	121
Figura 33:	Potenciometria Abril 2006.	121
Figura 34:	Variação do nível d'água nos poços de monitoramento da Área 1.	123
Figura 35:	Variação do nível d'água nos poços de monitoramento da Área 2.	125
Figura 36:	Perfil longitudinal entre os poços de monitoramento 2 e 5.	125
Figura 37:	Síntese das concentrações de hidrocarbonetos na água subterrânea.	133
Figura 38:	Distribuição dos postos de combustíveis no município de Seropédica-RJ.	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Classificação das fontes de contaminação da água subterrânea.	10
Tabela 02:	Mecanismos de contaminação e categorias associadas.	11
Tabela 03:	Principais causas de vazamentos nos tanques e sistemas de tubulação.	18
Tabela 04:	Características dos sistemas que apresentaram vazamento na Califórnia-EUA.	18
Tabela 05:	Equipamentos utilizados como proteção contra derramamentos e transbordamentos.	22
Tabela 06:	Métodos aceitos para a detecção de vazamento nos SACS's no Brasil.	23
Tabela 07:	Poços de Monitoramento como equipamento integrante do sistema de detecção de vazamentos nos estados da região sudeste do Brasil.	25
Tabela 08:	Dispositivos para proteção contra a corrosão dos sistemas subterrâneos.	26
Tabela 09:	Classificação dos postos conforme área do entorno de 100 metros.	30
Tabela 10:	Padrão americano de potabilidade da água e possíveis conseqüências da exposição por via de ingestão de alguns compostos orgânicos.	31
Tabela 11:	Valores de referencia para compostos monoaromáticos e poliaromáticos baseados na lista holandesa e padrão de brasileiro de potabilidade da água.	33
Tabela 12:	Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas do estado de São Paulo.	35
Tabela 13:	Pressão de Vapor e Constante da Lei de Henry de alguns compostos orgânicos a 20°C.	42
Tabela 14:	Propriedades físico-químicas de alguns componentes da gasolina.	42
Tabela 15:	Distribuição de fases de um vazamento de 30.000 gal de gasolina.	51

Tabela 16: Estimativa do volume de água subterrânea contaminada por benzeno proveniente de vazamentos nos tanques dos postos de combustíveis nos EUA.	55
Tabela 17: Volume de água purgado em cada poço de monitoramento	90
Tabela 18: Sistemas de proteção contra vazamento/derramamento/transbordamentos exigidos para posto Classe 1 no estado do Rio de Janeiro.	105
Tabela 19: Concentração de VOC ao longo do perfil vertical do solo no PM5.	109
Tabela 20: Distribuição granulométrica e classificação textural no perfil do solo do PM1.	111
Tabela 21: Variação da condutividade hidráulica e características do solo.	115
Tabela 22: Coordenadas dos poços de monitoramento e carga hidráulica.	116
Tabela 23: Gradiente hidráulico entre os poços de monitoramento da ÁREA 1 - 2006.	117
Tabela 24: Gradiente hidráulico entre os poços de monitoramento da ÁREA 2 - 2006.	117
Tabela 25: Sentido preferencial do fluxo subterrâneo (rumo) - Janeiro a Abril 2006.	117
Tabela 26: Variação do nível d'água entre os meses de Outubro de 2005 a Abril de 2006.	123
Tabela 27: Variáveis e fórmulas do cálculo da velocidade média linear do fluxo vertical na camada areno-argilosa amarela.	127
Tabela 28: Estimativa da vazão, velocidade média linear e tempo de transporte em função dos valores médios de condutividade hidráulica e gradiente hidráulico.	127
Tabela 29: Estimativa da velocidade média linear da fase livre de diesel no PM5.	128
Tabela 30: Cálculo da espessura real da fase livre no PM5.	128
Tabela 31: Concentração de BTEX's na água subterrânea.	129
Tabela 32: Concentração de BTEX's no solo.	130
Tabela 33: Concentração de PAH na amostra de solo do PM5 a 5,5 m.	131
Tabela 34: Concentração de PAH nas amostras de água dos PM's 2 e 4.	132
Tabela 35: Inventário dos postos de combustíveis do município de Seropédica - RJ.	135
Tabela 36: Índices adotados para cálculo da vulnerabilidade com o método GOD.	136
Tabela 37: Risco de contaminação das águas subterrâneas pelos postos de combustíveis no município de Seropédica-RJ.	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 01:	Valores de referencia adotados pela Lista Holandesa.	32
Quadro 02:	Classificação dos Valores Orientadores do Estado de São Paulo.	34
Quadro 03:	Propriedades geológicas/hidrogeológicas exigidas no processo de licenciamento ambiental.	37
Quadro 04:	Síntese dos critérios gerais para amostragem ativa de vapores.	51
Quadro 05	Classificação das áreas sob investigação segundo método CETESB, 1999.	77

SIGLAS

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ANP	Agência Nacional do Petróleo e Gás Natural
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
API	<i>American Petroleum Institute</i>
BTEX's	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CADEQ	Cadastro de Emergências Químicas - CETESB
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e Alcool
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CSAO	Caixa separadora de água e óleo
DNAPL	<i>Dense Non-Aqueous Phase Liquids</i>
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
GC-MS	<i>Gas Chromatography - Mass Spectrometry</i>
HRGC-FID	<i>High Resolution Gas Chromatography - Flame Ionization Detector</i>
HRGC-MS	<i>High Resolution Gas Chromatography - Mass Spectrometry</i>
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEM	<i>Indiana Department of Environmental Management</i>
IDNR	<i>Iowa Department of Natural Resources</i>

IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Koc	Coeficiente de Partição Orgânica
LNPL	<i>Light Non-Aqueous Phase Liquids</i>
LUSTIS	<i>Leaking Underground Storage Tank Inventory System</i> (Califórnia - EUA)
MCL	<i>Maximum Contaminant Level</i>
MCLG	<i>Maximum Contaminant Level Goal</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
N.A.	Nível d'água
OTA	<i>Office of Technology Assessment</i>
PAH's	Hidrocarbonetos poliaromáticos
PM	Poço de monitoramento
ppb	Parte por bilhão
ppm	Parte por milhão
SACS	Sistema de Armazenamento de Combustíveis Subterrâneo
SAS	Sistema de Armazenamento Subterrâneo
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SVOC	Composto orgânico semi-volátil
UADI	Unidade de Abastecimento de Diesel
UAGA	Unidade de Abastecimento de Gasolina e Álcool
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRuralRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
ULTO	Unidade de Lavagem e Troca de Óleo
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i> - composto orgânico volátil
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA
DE RECURSOS MINERAIS

**INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL EM POSTO DE ABASTECIMENTO DE
COMBUSTÍVEIS NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA-RJ**

RESUMO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Charles Santos Silva

Os postos de combustíveis são reconhecidos como uma atividade potencialmente poluidora do solo, águas superficiais e subterrâneas e ar e a legislação ambiental nacional exige que as instalações, equipamentos e operação sejam fundamentados em normas técnicas, além da necessidade do licenciamento ambiental pelo órgão competente. Nos acidentes ambientais, a população pode ficar exposta a substâncias tóxicas e inflamáveis. No município de Seropédica-RJ foram inventariados 11 postos de combustíveis (9 revendedores e 2 postos de abastecimento) e avaliado o risco de contaminação das águas subterrâneas a partir da interação da provável carga contaminante gerada por estes estabelecimentos com os índices pré-existentes de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município. Como estudo de caso, foi selecionado para uma investigação detalhada, o posto de abastecimento que atende exclusivamente há mais de 20 anos a demanda interna de uma universidade no município. O posto opera com equipamentos e planta em desacordo com a legislação ambiental que o torna uma fonte pontual potencialmente contaminadora na área do *campus*. A área investigada compreende 1300 m² e encontra-se sobre o manto de alteração das rochas que constituem o embasamento cristalino. Os aquíferos em solos residuais no município são considerados como integrantes do Sistema Aquífero Fraturado local. Inicialmente foi executada uma varredura quantitativa da concentração de gases no solo com um monitor portátil e selecionado pontos para sondagens de reconhecimento para a descrição física do solo e coleta de amostras. Posteriormente foram instalados 6 poços de monitoramento para caracterização hidrodinâmica e coleta de amostras de água subterrânea. Nas amostras de solo e água, foram quantificados os compostos orgânicos que são utilizados como indicadores de combustíveis no ambiente e comparados aos valores orientadores definidos pela agência ambiental do Rio de Janeiro. No poço 5, foi diagnosticado fase livre (portanto a área está contaminada) associado à perda de estanqueidade do tanque de óleo diesel atualmente em operação e fase residual de gasolina observada durante a perfuração do poço 2 (considerado referente ao episódio de vazamento que levou ao desativamento deste tanque). Nos demais poços os valores dos compostos orgânicos na água estão nos padrões aceitos de potabilidade.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA

DE RECURSOS MINERAIS

**ENVIRONMENTAL SURVEY OF A SEROPÉDICA CITY GAS STATION,
RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL.**

ABSTRACT

MASTER DEGREE DISSERTATION

Charles Santos Silva

Gas stations create a recognized potential threat of contamination to soil, groundwater and air. Brazilian environmental laws regulate the technical standards regarding the installation, equipments and operation of gas stations in addition to requiring environmental licenses. Accidents may expose the population to toxic and flammable substances. In Seropédica city (state of Rio de Janeiro), 11 gas stations (9 commercial and 2 non-commercial) were identified. The risk of the groundwater contamination was checked interacting the probably contaminant load created by those establishments with a vulnerability map of local aquifers. A case study was selected to allow a more detailed investigation of a non-commercial gas station that supplied a university in this city for more than 20 years. The gas station operated equipments and a plant out of compliance with environmental laws. It is a contamination point source in the campus area. The research area is about 1300 m² and is located under a rocky alteration mantle. The aquifer on residual soils in the city belongs to a local fractured aquifer system. First, a quantitative gas screening was performed on the soil with a portable monitor to identify optimum placement of boreholes. Samples were collected to ascertain soil properties. Later, six monitoring wells were installed to provide hidrodynamic characterization and to collect groundwater samples. On soil and groundwater samples was quantified the organic compounds that are used to identify the presence of fuels in the environment. The levels in the samples were compared with standards established by the Rio de Janeiro environmental agency. Monitoring well number 5 revealed free phase (consequently, the area is contaminated). The source is a leaking diesel tank that is in operation. A residual gasoline phase was also observed (during the drilling of monitoring well number 2) which was associated with an old leaking tank (actually this tank is off operation). In other wells the organic compounds are in the acceptable limits of potability.

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 - OS ACIDENTES NOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS E O MEIO AMBIENTE

Os postos de combustíveis representam uma atividade potencialmente contaminadora do solo, das águas superficiais e subterrâneas e do ar. Atividade potencialmente contaminadora é definida como aquela onde ocorre o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem ocasionar danos aos bens a proteger. Incluem também as atividades comerciais que manipulam substâncias tóxicas ou inflamáveis (CETESB, 1999).

A Resolução 273 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente publicada em 2001 definitivamente reconheceu este risco ao meio ambiente ao considerar: “toda instalação de sistemas de armazenamento de petróleo e outros combustíveis configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais” e estabelece a obrigatoriedade do Licenciamento Ambiental para esta atividade além de equipamentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

A existência de aproximadamente 30.000 postos revendedores no Brasil (registrados na Agência Nacional do Petróleo - ANP) tornam estes estabelecimentos e outros que armazenam combustíveis como potenciais fontes pontuais de contaminação principalmente nas áreas urbanas.

Os acidentes gerados por vazamentos, transbordamentos ou derramamentos de combustíveis e lubrificantes podem contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas (inutilizando este recurso para abastecimento local) expondo a população a substâncias tóxicas, inflamáveis e potencialmente cancerígenas.

Destacam-se não só os danos ambientais e à saúde, mas o risco desses líquidos inflamáveis serem carreados para a rede de esgoto, dutos subterrâneos (telefonia, eletricidade, túneis do metrô) ou o confinamento de gases em edificações (OLIVEIRA, 1992) e em poços, representando grande risco de incêndio e explosão nos centros urbanos além do incômodo com o odor destes produtos. Existe também a possibilidade destes migrarem para a pista de rolamento ocasionando acidentes de trânsito.

Tragicamente a situação descrita foi causa de um acidente na zona leste de São Paulo em 2005 onde um operário envolvido na perfuração de um poço em um posto de combustível foi vítima fatal de uma explosão associada a um vazamento de combustível que migrou em subsuperfície, concentrando líquidos e vapores altamente inflamáveis no poço. Outras cinco pessoas sofreram ferimentos além da destruição de seis carros e parte do estabelecimento (CETESB, 2005a; POSTOINFO, 2005).

A ausência ou deficiência de itens estruturais obrigatórios para o funcionamento desta atividade, definidos por normas técnicas, contribuem para ocorrência de acidentes ambientais tais como: pavimentação, rede de drenagem inexistente ou interligada a rede de águas pluviais, ausência de caixa separadora de água e óleo, controle inadequado de efluentes e outras.

O descaso de alguns proprietários, negligenciando a manutenção dos equipamentos e instalações, a falta de treinamento dos funcionários frente aos incidentes, falhas operacionais (falha humana durante a operação de abastecimento e descarga) e principalmente a falta da licença ambiental obrigatória potencializam as chances de possíveis danos ambientais.

A prevenção através da adequação dos estabelecimentos à legislação ambiental, sem dúvida é a opção mais viável, já que a estes acidentes estão associadas grandes despesas financeiras evidenciadas por danos humanos e materiais, desperdício de produtos, em passivos e expressivas multas ambientais, aplicação de recursos para o atendimento emergencial e principalmente para a caracterização e remediação da área contaminada.

A Figura 01 sintetiza as possíveis consequências dos acidentes ambientais nos postos de combustíveis: 1. Derramamento superficial atingindo a galeria de esgoto; 2. Infiltração e contaminação do solo; 3. Vazamento em subsuperfície penetrando em instalação subterrânea (esgoto); 4. Contaminação da água subterrânea; 5. Derramamentos superficiais e o risco de acidentes de trânsito; 6. Contaminação do poço residencial; 7. Vapores podem se concentrar nas edificações, 8. Contaminação dos corpos hídricos; (1, 3, 5, 6,7) Risco de incêndio/explosão.

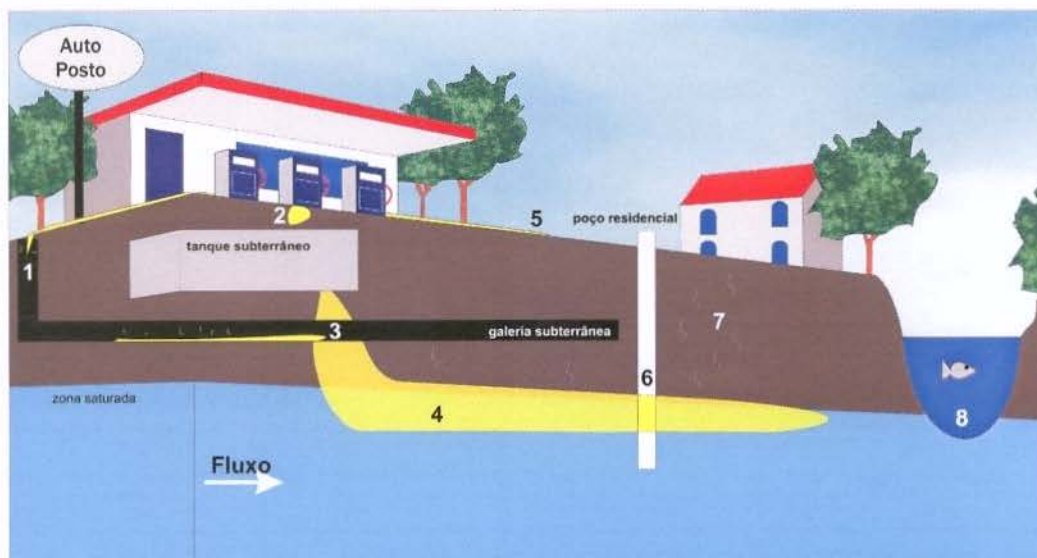


Figura 01: Possíveis consequências dos acidentes ambientais nos postos de combustíveis.
Fonte: modificado de Downing (1998).

1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Para a exposição da questão envolvendo os postos de combustíveis e o meio ambiente, foi selecionado o município de Seropédica-RJ onde os postos de combustíveis foram inventariados e como estudo de caso adotado a realização de uma investigação ambiental na área do posto de combustíveis da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRuralRJ, situada no km 47 da BR-465 (Figura 02). A área investigada compreende aproximadamente 1300 m².

O posto, instalado no pátio do Setor de Transportes na década de 70 (acesso restrito aos funcionários da universidade) deste então, é utilizado exclusivamente para atender a demanda interna da frota e outras máquinas da instituição. Nesta condição de operação é classificado como posto de abastecimento, pois não há atividade de revenda.

Os sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis encontram-se com idade avançada e as características construtivas em desacordo com o preconizado pelo CONAMA o que torna a instalação uma potencial fonte contaminadora pontual do solo e da água subterrânea na área do *campus* por compostos orgânicos.

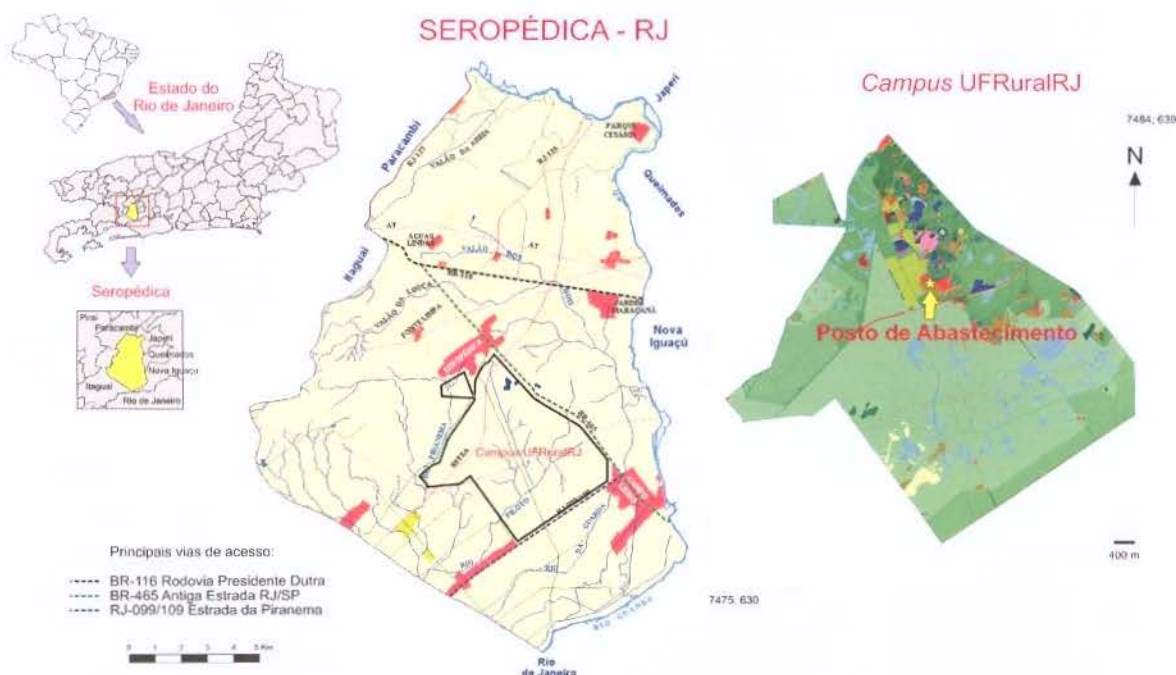


Figura 02: Município de Seropédica-RJ e *campus* da UFRuralRJ (principais vias de acesso).
Fonte: modificado dos cartogramas: Dados Básicos de Seropédica - RJ (MOREIRA, 2001);
Uso e Ocupação do Solo do *campus* da UFRuralRJ (GOES e XAVIER-DA-SILVA, 1998).

Em síntese, para a investigação ambiental na área do posto de abastecimento, foram executados dois tipos de sondagens:

Sondagens rasas a uma profundidade de 1 metro distribuídas próximas aos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis. Possibilitaram em conjunto com a utilização de um equipamento portátil analisador de vapores uma varredura inicial da concentração de vapores de combustíveis no solo.

Sondagens de reconhecimento até a zona saturada. Permitiram a descrição física do solo, a análise da concentração de vapores de combustíveis ao longo do perfil vertical e coleta de amostras para a caracterização granulométrica e análise da concentração de compostos orgânicos que são utilizados como indicadores de combustíveis no ambiente.

Nestas sondagens, foram instalados 6 poços de monitoramento para a obtenção de parâmetros hidrodinâmicos de subsuperfície como condutividade hidráulica, velocidade média do fluxo subterrâneo e sentido preferencial do fluxo além de amostras de água subterrânea.

Nas amostras de água, foram analisadas as concentrações de compostos orgânicos e assim como os demais quantificados no solo, foram posteriormente comparados aos valores orientadores de qualidade estabelecidos pela agência ambiental do Estado do Rio de Janeiro.

Para os demais postos de combustíveis inventariados no município, foi determinado o risco de contaminação das águas subterrâneas em função desta atividade com o método proposto por Foster e Hirata (1993), a partir da interação da provável carga contaminante gerada com o mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos locais desenvolvido por Monsorens *et al.* (2003).

Estes autores individualizaram dois principais “sistemas aquíferos” no município: Sistema Aquífero Piranema (aquíferos livres em sedimentos quaternários arenosos e areno-argilosos) e Sistema Aquífero Fraturado gerado por permeabilidade secundária (fraturas e falhas) em rochas ortoderivadas incluindo também o manto de alteração associado (solo residual com permeabilidade primária).

Explorados para o abastecimento doméstico e irrigação de pequenas propriedades, estes aquíferos possuem grande importância social local, principalmente o Sistema Aquífero Piranema cuja geologia e a potencialidade favorecem a construção de poços rasos pela população.

Além da potencialidade hídrica subterrânea do Sistema Aquífero Piranema, destaca-se neste mesmo domínio, a exploração em cavas de 80% da areia empregada na construção civil da região metropolitana do Rio de Janeiro segundo Puget e Nunes (2000) no distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica.

2.0 - OBJETIVO GERAL

Executar uma investigação ambiental na área do posto de abastecimento de combustíveis da UFRuralRJ (Seropédica-RJ) visando identificar a presença de combustíveis derivados de petróleo na zona saturada e não-saturada do solo.

2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a hidrodinâmica da zona saturada e não-saturada do posto de abastecimento;
- Determinar a vulnerabilidade natural do aquífero na área do posto de abastecimento;
- Cadastrar os postos de combustíveis do município e avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas em função desta atividade.

3.0 - JUSTIFICATIVA

Esta investigação ambiental, documentará na área do posto de abastecimento da UFRuralRJ, a necessidade da adoção de medidas para proteger a saúde humana, a qualidade do solo e da água subterrânea, além de evidenciar, em caso de vazamento, um possível desperdício de combustíveis e, conseqüentemente, perdas de recursos financeiros, que pode ser solucionado com a substituição de equipamentos obsoletos/defeituosos por outros adequados às normas técnicas e legislação ambiental vigente.

Caso a instituição desenvolva algum projeto de utilização da água subterrânea como fonte alternativa de abastecimento do *campus*, é indispensável o conhecimento dos locais contaminados e/ou potencialmente contaminados, além das potencialidades dos aquíferos locais.

A caracterização de parâmetros geológicos e hidrogeológicos na área em estudo, além de contribuir para a compreensão de uma porção do sistema aquífero associado, em conjunto com o resultado do levantamento do passivo ambiental, correspondem a uma das exigências caso a instituição inicie o processo de licenciamento ambiental do posto.

A análise da distribuição dos demais postos de combustíveis sobre os sistemas aquíferos do município é uma ferramenta que permite aos responsáveis pelo Gerenciamento Ambiental da área estabelecer prioridades e ações para proteger a população local das possíveis conseqüências dos acidentes ambientais envolvendo este tipo de atividade potencialmente contaminadora.

4.0 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 - A CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A contaminação das águas subterrâneas gera diversos efeitos adversos à sociedade tais como danos à saúde, impactos sociais, ambientais e econômicos.

Os danos à saúde estão associados a possível exposição a substâncias tóxicas, principalmente as carcinogênicas e outras que podem causar danos ao fígado, rim e ao sistema nervoso. Os efeitos à saúde humana são difíceis de serem estudados, pois demandam um longo tempo de observação da exposição ao contaminante.

Os transtornos causados à população representam sérios impactos sociais, exemplificados nos casos em que os afetados são proibidos de consumir água dos seus próprios poços de abastecimento, sofrem incômodos com odores, carência de informação e resposta dos responsáveis, depreciação de suas propriedades e, em casos extremos, inclusive a necessidade da remoção temporária ou permanente dos moradores da área afetada entre outros.

Os impactos ao meio ambiente incluem a degradação da qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas (devido interação), do ar, da vida animal e vegetal.

Altos custos econômicos estão envolvidos na detecção e remediação das áreas contaminadas. Outras perdas econômicas incluem: queda na produtividade agrícola, depreciação de propriedades, danos à imagem de empresa, expressivas multas ambientais etc. (OTA, 1984).

Dentre as características que torna vantajosa a utilização das águas subterrâneas é o fato deste manancial estar relativamente melhor protegido de agentes contaminantes (que afetam mais rapidamente a qualidade das águas superficiais) que conseqüentemente acarreta em custos de produção de água potável mais econômico devido aos menores custos de captação e tratamento (REBOUÇAS, 1996).

A água subterrânea é empregada como fonte de abastecimento em diversas atividades destacando-se a captação de água potável, abastecimento público, irrigação, agropecuária, uso industrial, extração mineral, no turismo (hidrotermal e hidromineral).

Em proporções que variam largamente entre os países, a exploração de água subterrânea cobre aproximadamente 50% das necessidades de água potável, 20% da demanda para a irrigação e 40% das necessidades da indústria no nível mundial (ZEKTSER e EVERETT, 2004).

No Brasil, cerca de 61% da população brasileira é abastecida por mananciais subterrâneos, tais como poços rasos 6%, nascentes/fontes 12% e poços profundos 43% (MMA, 1998). O Censo Demográfico 2000 revelou que 22,2% dos domicílios no Brasil não contam com rede de abastecimento de água e destes 70,2% utilizam a água subterrânea como forma de suprimento (IBGE, 2004).

Diversas substâncias consideradas como contaminantes podem ser encontradas na água subterrânea. Estas incluem os compostos orgânicos sintéticos, hidrocarbonetos, íons inorgânicos, patógenos e radionuclídeos. Cada um se comporta de uma maneira peculiar na água subterrânea de acordo com suas propriedades (FETTER, 1992).

Em 1984 o Congresso Americano através do OTA - *Office of Technology Assessment* agrupou os tipos de fontes de contaminação das águas subterrâneas (Tabela 01) em 6 categorias, baseados na natureza da atividade contaminadora.

Tabela 01: Classificação das fontes de contaminação da água subterrânea.

CATEGORIA I	CATEGORIA II	CATEGORIA III
Fontes projetadas para descarregar substâncias no subsolo:	Fontes projetadas para armazenar, tratar ou dispor substâncias no solo:	Fontes projetadas para reter substâncias durante o transporte:
Fossas sépticas; <i>Cesspool</i> (fossa negra) normalmente descarregam efluentes de origem doméstica; Poços de injeção de rejeitos.	Aterros sanitários, lagoas de rejeitos industriais, lagoas de fazendas e municípios para armazenar ou tratar água, rejeitos de mineração, queima de animais, tanques aéreos ou subterrâneos, cemitérios etc.	Oleodutos; Caminhões tanque; Vagões tanque; Tubulações de esgoto e efluentes industriais.
CATEGORIA IV	CATEGORIA V	CATEGORIA VI
Fontes de descarga de substâncias decorrentes de outras atividades:	Fontes que providenciam conduto para a água contaminada entrar no aquífero:	Fontes de ocorrência natural na qual a descarga é criada e ou exacerbada pela atividade humana:
Atividade agrícola (irrigação, aplicação de pesticidas, aplicação de fertilizantes, dejetos de animais de fazendas), aplicação de sal para remover neve de rodovias, escoamento urbano, percolação de poluentes atmosféricos, drenagem de mineração.	Poços de produção; Poços abandonados; Poços de monitoramento; Poços de exploração; Escavação de construções.	Intrusão salina, interação entre corpos hídricos superficiais contaminados e água subterrânea.

Fonte: (OTA, 1984, cap. II, p. 45).

A Figura 03 sintetiza alguns mecanismos de contaminação das águas subterrâneas e a Tabela 02 associa os mecanismos com as categorias propostas pelo OTA (1984).

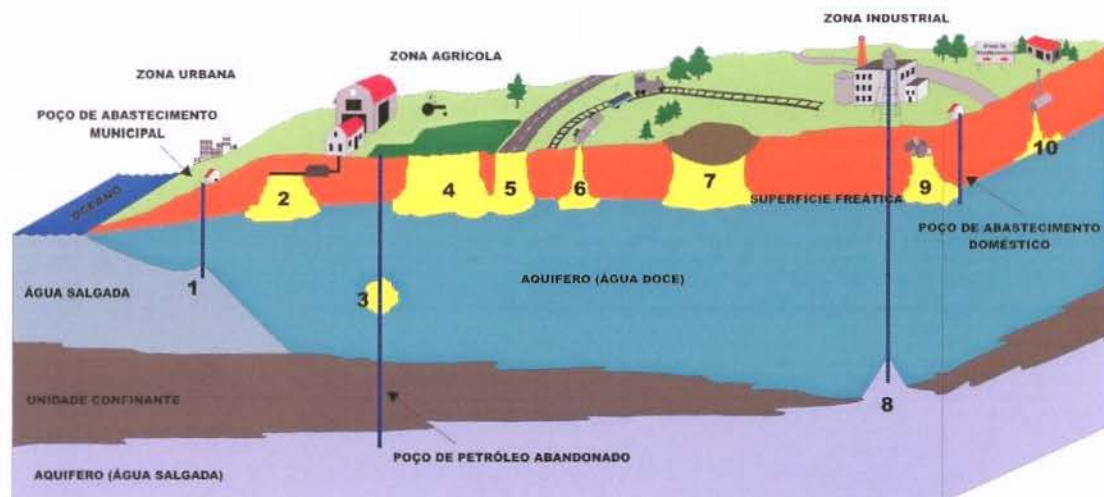


Figura 03: Mecanismos de contaminação do solo e águas subterrâneas.
Fonte: modificado de Fetter (1992).

Tabela 02: Mecanismos de contaminação e categorias associadas segundo OTA (1984).

Nº.	Descrição	OTA	Nº.	Descrição	OTA
1	Progradação da cunha salina por super-exploração	VI	6	Acidentes no transporte de cargas tóxicas	III
2	Fossa séptica	I	7	Aterro sanitário	II
3	Ruptura em revestimento de poço de exploração	V	8	Entrada de água salina no poço	VI
4	Infiltração de pesticidas e fertilizantes	IV	9	Rejeitos industriais enterrados	II
5	Infiltração de produtos químicos nas estradas	IV	10	Vazamentos em tanques subterrâneos.	II

Nos Estados Unidos, no Levantamento Nacional da Qualidade das Águas, realizado pela Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA em 2000, os estados, tribos indígenas e territórios apontaram as 10 principais fontes de contaminação das águas subterrâneas.

Conforme expresso na Figura 04, os sistemas de armazenamento de combustíveis subterrâneos foram citados como a principal fonte de contaminação, seguida pelos sistemas sépticos e os aterros sanitários (USEPA, 2002a).

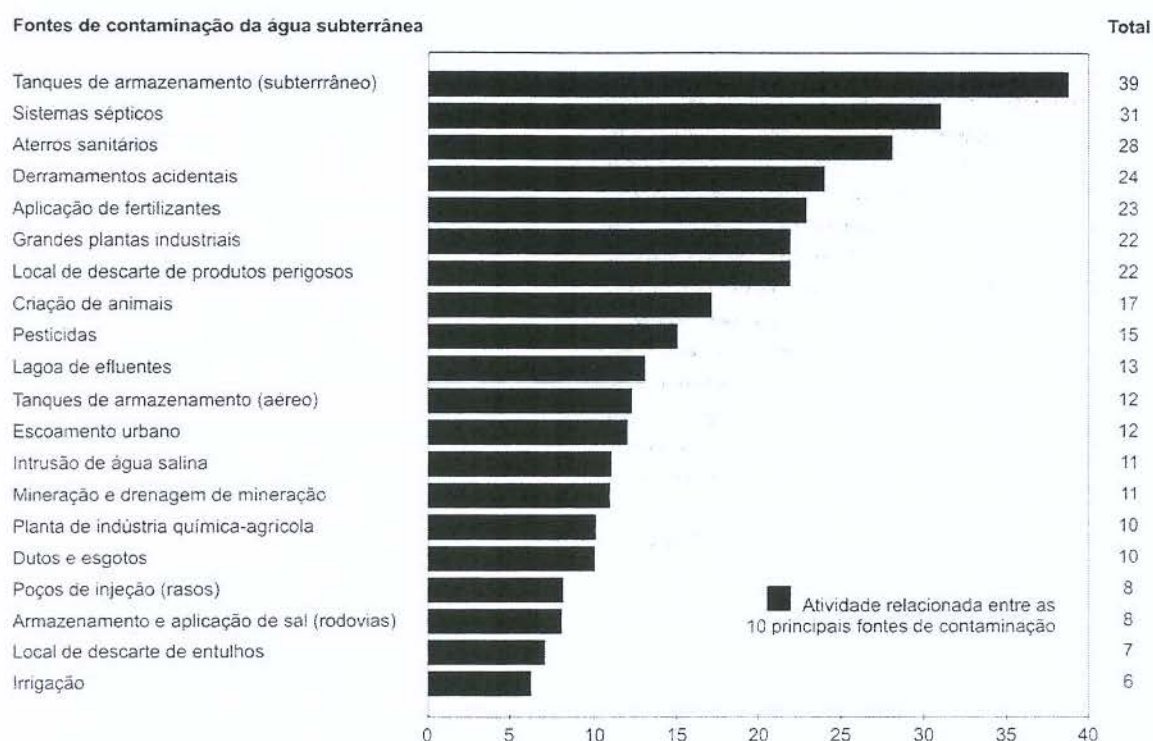


Figura 04: Principais fontes de contaminação das águas subterrâneas nos Estados Unidos.

Fonte: (USEPA, 2002a, cap. VI, p. 52).

4.2 - ACIDENTES AMBIENTAIS NOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS - HISTÓRICO

Nos Estados Unidos, o marco estabelecendo a relação entre os postos de combustíveis e o meio ambiente foi em dezembro de 1983, quando o programa de televisão “60 Minutes” da rede CBS exibiu em rede nacional o drama da família Hatfield (moradora da comunidade de *Canob Park* em *Providence* - Estado de *Rhode Island*) que não podia consumir água de seu poço, pois este estava contaminado por gasolina que havia vazado de um posto na vizinhança.

A própria investigação da rede de televisão identificou outras famílias na mesma situação: gasolina vazando de Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC) estava comprometendo a qualidade da água subterrânea para o consumo local.

Esta investigação e histórias semelhantes levaram à importância do estabelecimento de padrões para regulamentar a produção, instalação e operação dos tanques. Em 1984, o Congresso Americano designou a Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA como o órgão responsável pela edição dos regulamentos e estes foram publicados em 1988 (USEPA, 2004).

Em 2005 havia 660.274 tanques em operação nos EUA e 1.605.711 que estavam fora das especificações foram desativados. Foram confirmados 448.807 casos de vazamento e iniciada a remediação em 416.246 áreas tendo sido concluída em 323.586. Nos EUA todos os tanques aéreos ou subterrâneos com mais de 1.100 galões (4.164,8 l) são regulamentados (USEPA, 2005).

No Brasil não existe um programa nacional específico para a determinação do universo de SASC e registro de vazamentos, entretanto a maior contribuição federal foi a publicação da Resolução CONAMA 273 (2000) que trata do Licenciamento Ambiental dos Postos e estabelece padrões técnicos incluindo a necessidade do uso de sistemas de detecção de vazamentos, testes de estanqueidade, exigências estruturais e equipamentos normatizados pela ABNT.

Diversos casos semelhantes ao americano envolvendo contaminação de água subterrânea por postos de combustíveis foram descritos no Brasil evidenciados muitas vezes pelo aspecto visual, odor, sabor, presença de vapor e fase livre de combustíveis:

- Diadema-SP, agosto de 1990, moradores da Rua Maria Emília sentiram cheiro de gasolina que emanava dos poços domésticos e um apresentava fase livre de combustível associado ao vazamento de um posto (OLIVEIRA, 1992).

- Itaguaí-RJ, após o vazamento de gasolina de um posto de combustíveis, em maio de 1998, surgiu gasolina em fase livre nas torneiras das residências que utilizavam poços de abastecimento no Bairro Brisa Mar (BRANDÃO, 2002).

- No ano 2000, um vazamento de um tanque subterrâneo de um posto na grande São Paulo gerou o aparecimento de combustível minando do piso de uma residência e odor de combustível, provenientes dos ralos do banheiro, quintal e na entrada da residência (MILLER, 2001).

- Após denúncia em 2004 dos moradores da Vila Tupi, Porto Velho-RO, ao Ministério Público e órgão ambiental estadual, que seus poços apresentavam forte cheiro de combustível, o CPRM (Serviço Geológico do Brasil) confirmou a contaminação gerada por um vazamento de tanques subterrâneos em um posto de combustível localizado a cerca de 150 metros da vila (MELO JUNIOR e COSTI, 2004).

A relação entre os postos de combustíveis e o ambiente pode ser observada no Estado de São Paulo, onde do total das 1596 áreas cadastradas como contaminadas (Figura 05) pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 1164 (73%) são referentes aos postos de combustíveis (CETESB, 2005b).

Segundo a CETESB, estas áreas se tornaram expressivas no cadastro de áreas contaminadas após publicação da resolução CONAMA 273 (2000) que exige que em todos postos em operação seja feita a avaliação do passivo ambiental, como uma das exigências para a obtenção da licença ambiental.

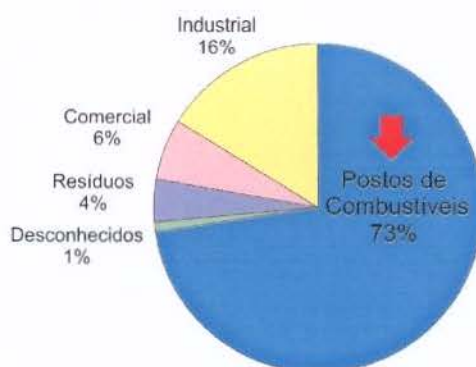


Figura 05: Áreas contaminadas no Estado de São Paulo (Novembro 2005).
Fonte: (CETESB, 2005b).

De forma análoga é observado que os combustíveis líquidos estão entre os principais contaminantes encontrados neste Estado (Figura 06). O fato dos solventes aromáticos liderarem a relação deve-se ao fato de serem largamente utilizados na indústria.

Dentre os 5884 acidentes ambientais no período de 1978-2004 (junho), 550 ocorrências foram registradas nos postos de combustíveis e sistemas retalhistas de combustíveis, representando 9,3 % dos atendimentos realizados por este órgão ambiental (CETESB, 2005c).

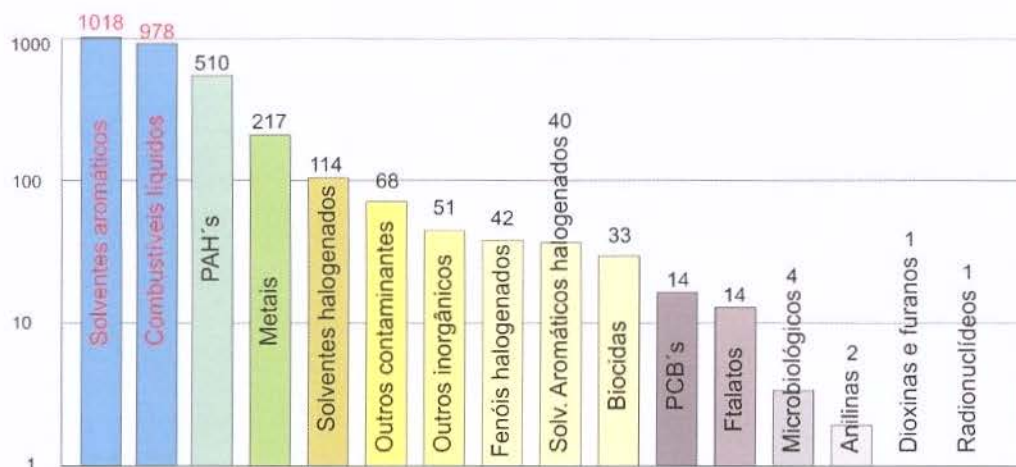


Figura 06: Contaminantes encontrados nas áreas contaminadas no Estado de São Paulo. (novembro 2005)
Fonte: (CETESB, 2005b)

4.3 - OS SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO

Os Sistemas de Armazenamento Subterrâneo (SAS) compreendem os tanques e os dutos associados com no mínimo 10% do volume sob a superfície e uma bomba que move o produto (geralmente uma substância regulamentada) para a superfície.

Nos EUA, substância regulamentada é definida como um elemento, composto ou solução, a qual lançada ao ambiente pode representar risco à saúde pública ou ao ambiente e inclui os derivados de petróleo (combustíveis, solventes, lubrificantes, óleo usado etc.) e outras substâncias perigosas (pesticidas, produtos químicos) (IDNR, 1996).

Neste mesmo país, aproximadamente 95% de todos os SAS's armazenam combustíveis derivados de petróleo tais como gasolina e óleo diesel (IDEM, 2000). Nesta condição estes são denominados de Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível SASC.

Não são apenas os postos revendedores de combustíveis que operam os SASC's. Estes também são encontrados em: instalações de manutenção de frotas, oficinas mecânicas, frentes de mineração, empresas de transporte, comércio de derivados de petróleo (GUIGUER, 2000), aeroportos, terminais ferroviários, fazendas, indústrias, instalações militares e outras.

4.4 - ACIDENTES AMBIENTAIS NOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Os acidentes ambientais nos postos de combustíveis são gerados por vazamentos, transbordamentos e derramamentos de produtos nos SASC's.

As principais causas dos vazamentos estão descritos na Tabela 03. Destaca-se a ação da corrosão (tanque, tubulação, bomba), falhas nas conexões, danos físicos (incluindo os abalroamentos, efeito da carga dos veículos sobre os sistemas, perfurações acidentais e vandalismo), defeitos na instalação e utilização de materiais fora das especificações técnicas.

Silva (2002) atenta para processos geológico-geotécnicos, como erosão e colapsividade do solo que também podem contribuir, resultando na deformação e/ou rompimento de dutos que conduzem os produtos.

Tabela 03: Principais causas de vazamentos nos tanques e sistemas de tubulação.

Tanques	Tubulação
Corrosão;	Corrosão;
Defeitos na construção ou instalação;	Sobrecarga em linhas de tubulação mal projetadas;
Falha no sistema devido à sobrecarga, forças externas ou perfurações.	Assentamento da área de aterramento;
	Tensões resultantes de mudanças de temperatura.

Fonte: (GUIGUER, 2000, p.150-151).

Uma análise feita por Young *et al.* (1999) no LUSTIS - *Leaking Underground Storage Tank Inventory System*, um banco de dados com os vazamentos no Estado da Califórnia - EUA (junho/1996 a julho/1998) apontou as características dos tanques e tubulações causadores dos vazamentos.

Os tanques mais vulneráveis foram os de aço sem proteção contra corrosão, com parede simples, e sistemas com idade de instalação superior a 15 anos (Tabela 04). A mesma análise pode ser feita nos casos que apontaram à tubulação como responsável pelo vazamento. Muitos destes sistemas estavam em desacordo com as exigências técnicas da Califórnia.

Tabela 04: Características dos sistemas que apresentaram vazamento na Califórnia - EUA.

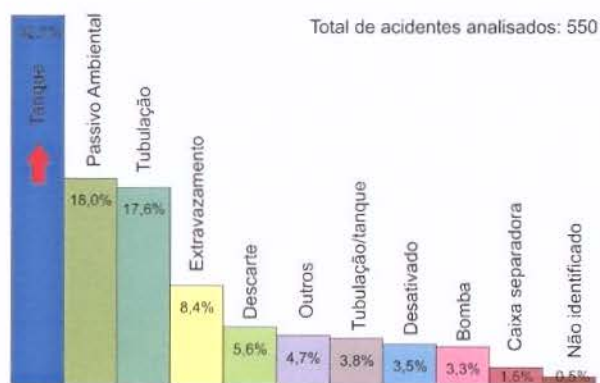
Tanques que vazaram	Idade tanque	%	Tipo de parede	%	Material do tanque	%
	> 15 anos	75.8	Simple	91.7	Aço sem revestimento	86.5
	11-15	8.3	Dupla	8.3	Fibra de vidro	7.8
	6-10	5.0			Aço com revestimento ¹	4.3
	0-5	0.8			Lined ² + proteção catódica	0.7
	Desconhecido	10			Aço com proteção catódica	0.7
Tubulações que vazaram	Idade tubulação	%	Tipo de parede	%	Material da tubulação	%
	> 15 anos	54.3	Simple	76.3	Aço sem revestimento	60.9
	11-15	28.4	Dupla	22.6	Fibra de vidro	28.3
	6-10	6.2	Desconhecido	1.1	Aço com revestimento*	4.3
	0-5	2.5			Flexível	2.2
	Desconhecido	8.6			Desconhecido	4.3

1. fibra de vidro ou uretano (aplicado na fábrica); 2. lined = tanque de aço com revestimento interno (aplicado no campo).

Fonte: (YOUNG *et al.*, 1999, p. 10-11).

No Estado de São Paulo, o registro das fontes causadoras dos acidentes nos postos de combustíveis (Figura 07A), apontam as falhas nos SASC's como as responsáveis por 57,4% dos acidentes (CETESB, 2005c). Dentre os produtos registrados nos acidentes nos postos de combustíveis (Figura 07B) destacam-se gasolina 72% e óleo diesel 19%.

A



B

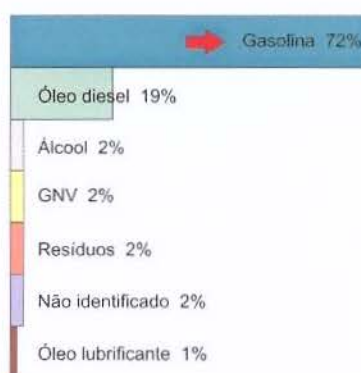


Figura 07A: Fonte dos acidentes ambientais nos postos revendedores do Estado de São Paulo.

Figura 07B: Produtos envolvidos nos acidentes ambientais nos postos do Estado de São Paulo.

Fonte: (CETESB, 2005c).

Segundo Morrisson (2000), um estudo do *American Petroleum Institute* - API constatou que a vida média dos tanques subterrâneos é de 15 anos e foi demonstrado que a utilização apenas da variável idade não é um bom indicador da integridade dos tanques.

O estudo revelou que um tanque de metal sem proteção contra corrosão tem vida finita, mas essa vida varia entre 5 a 45 anos, dependendo das características do tanque (espessura da chapa de aço, qualidade do material, dimensão), práticas de instalação e variáveis ambientais como: resistividade, pH, salinidade, conteúdo de umidade do solo, instalação do tanque na zona saturada, presença de sulfetos, tipo de material usado no aterramento e o tipo de produto que está armazenado.

Os tanques abandonados no subsolo também representam risco. Estes geralmente são desativados por terem apresentado perda de estanqueidade e os produtos residuais podem vazar. Burns e Wills (1996) alertam que estes enquanto permanecem no solo aumentam a taxa de corrosão dos sistemas em operação contribuindo para redução da vida útil.

Por determinação do CONAMA os tanques que apresentarem vazamento deverão ser removidos após sua desgaseificação e limpeza e dispostos de acordo com as exigências do órgão ambiental competente. Comprovada a impossibilidade técnica de sua remoção, estes deverão ser desgaseificados, limpos, preenchido com material inerte e lacrados (CONAMA 273, 2000, art. 8º § 4º). Também é vetada a utilização de tanques recuperados em SASC's (art. 5º § 2º).

Um levantamento realizado por Duarte (2003), nos postos do Distrito Federal, revelou que 51% dos tanques em operação são construídos em aço, sem revestimento, ou seja, sem proteção contra corrosão. Em relação à idade de instalação 41,5% têm idade superior a 10 anos e 14,2% têm mais de 20 anos de instalação.

Análise semelhante, feita por Loureiro *et al.* (2002) demonstrou que do total de 310 postos em operação em Belo Horizonte - MG (janeiro 1999), 1/3 apresentava tanques com idade superior a 20 anos.

Siqueira *et al.* (2002) observaram que dos 86 postos de Belém - PA, 34% apresentavam tanques com idade acima de 15 anos.

Este panorama apresentado é freqüentemente encontrado no território nacional e está sendo modificado pelas exigências técnicas do processo de licenciamento ambiental. Como exemplo, cita-se o Estado de São Paulo onde o órgão ambiental (CETESB) exige dos postos convocados para o licenciamento ambiental uma reforma completa de suas instalações, incluindo a substituição dos tanques, caso estes tenham idade superior a 15 anos.

4.4.1 - TRANSBORDAMENTOS E DERRAMAMENTOS

Os derramamentos são incidentes de pequena escala muitas vezes desprezados, pois envolvem pequenos volumes de combustíveis. Ocorrem próximos às unidades de abastecimento e descarga. O fato de se transformarem em eventos rotineiros, principalmente por falhas operacionais e de equipamentos, podem se tornar contaminações expressivas.

Dentre as causas citam-se as falhas operacionais no acionamento do sistema automático de bloqueio do fluxo nos bicos de operação, movimentação do veículo durante o abastecimento (CETESB, 2005d) e falhas na operação de descarga do caminhão tanque.

Os transbordamentos geralmente lançam um volume maior de produto que os derramamentos e tem como causa: falha de indicação de nível do tanque, falha do sistema de válvulas. A Tabela 05 apresenta os equipamentos exigidos para proteção contra derramamentos e transbordamentos.

Tabela 05: Equipamentos utilizados como proteção contra derramamentos e transbordamentos.

Proteção contra derramamentos	Proteção contra transbordamentos
Câmara de acesso à boca de visita;	Descarga selada;
Canaleta de contenção na projeção da cobertura;	Câmara de contenção da descarga selada;
Caixa separadora de água e óleo (CSAO);	Válvula de proteção contra transbordamento;
Contenção de vazamento sob a unidade abastecedora.	Válvula de retenção de esfera flutuante;
	Alarme contra transbordamento.

Fonte: (ABNT NBR 13786, 2001).

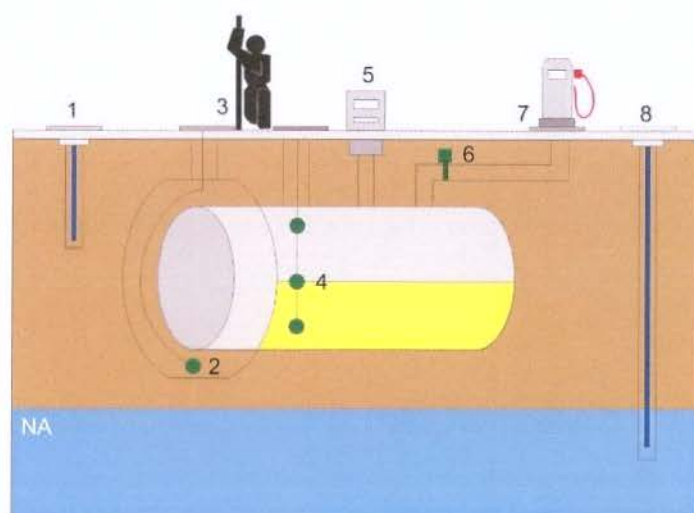
4.5 - MÉTODOS PARA DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM SASC's

A utilização de algum método para detecção de vazamentos permite a verificação periódica se o sistema está estanque e operando corretamente. Em caso de vazamento a pronta identificação possibilita o operador tomar medidas emergenciais e corretivas para que o menor volume de produto se espalhe, reduzindo as consequências ambientais.

A Figura 08 apresenta os métodos aceitos pela USEPA - *United States Environmental Protection Agency* que requer do operador americano o monitoramento rotineiro de vazamentos, utilizando um dos inúmeros métodos aprovados que podem ser combinados ou empregados separadamente (40 CFR Part 280, subpart D, 1996).

A legislação brasileira¹ também exige a utilização de algum método para a detecção de vazamento nos SASC's (Tabela 06) e a utilização de algum sistema de proteção contra corrosão (CONAMA 273, 2000, art. 5º). Cada agência ambiental define quais são os aceitáveis e que obrigatoriamente devem ser empregados segundo procedimentos normatizados pela ABNT.

¹ As citações referentes aos postos de combustíveis como: legislação ambiental, resoluções, instruções normativas, diretrizes, procedimentos, padrões técnicos, listas de referencia de compostos orgânicos e outros, basearam-se em documentos vigentes durante esta compilação. Destaca-se que estes estão em constante processo de revisão e atualização.



1. Poço de monitoramento de vapor.
2. Contenção secundária com monitoramento intersticial.
3. Controle manual de estoque.
4. Sistemas automáticos de manômetros.
5. Teste de estanqueidade e controle eletrônico de estoque.
6. Detecção de vazamentos para tubulações subterrâneas de sucção e pressurizadas
7. Sensor de vazamento em câmara de contenção.
8. Poço de monitoramento da água subterrânea.

Figura 08: Métodos para detecção de vazamentos nos SASC's.

Fonte: (USEPA, 1997a).

Tabela 06: Métodos aceitos para a detecção de vazamento nos SASC's no Brasil.

Sistema de detecção de vazamento nos tanques	Periodicidade da checagem
Controle de estoque manual ou automático	Diário
Poço de monitoramento (água subterrânea)*	30 dias (solo arenoso 15 dias)
Monitoramento em sistemas com contenção secundária	Contínuo e diário
Poço monitoramento (vapor)*	30 dias
Ensaio de estanqueidade	< 5 anos (CONAMA 273, 2000, art. 3º)
Sistema de detecção de vazamento nas tubulações	
Ensaio de estanqueidade	< 5 anos (CONAMA 273, 2000, art. 3º)
Monitoramento da pressão de operação	Contínuo e diário
Monitoramento em sistemas de contenção secundária	Contínuo e diário

Fonte: (ABNT NBR 13784, 2001).

* Na região sudeste do Brasil os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo adotam os poços de monitoramento (PM) como equipamento integrante do sistema de detecção de vazamento (Tabela 07); neste caso se o posto estiver reconhecidamente contaminado não é permitido a instalação de PM para esse propósito.

Nos Estados de São Paulo e Minas Gerais os poços de monitoramento não são equipamentos integrantes do sistema de detecção de vazamentos e apenas são instalados para a realização da investigação de passivos ambientais devendo ser selados quando o resultado da investigação não indicar contaminação, conforme procedimentos recomendados pela agência.

Tabela 07: Poços de Monitoramento como equipamento integrante do sistema de detecção de vazamentos nos Estados da região sudeste do Brasil.

Estado	Poço de Monitoramento	Fonte
Espírito Santo	Utilização Obrigatória	IEMA (ABNT NBR 13784, 1997; 13786, 1997)
Minas Gerais	Utilização Dispensada	COPAM N°. 60, 2002 (art. 3º)
Rio de Janeiro	Utilização Obrigatória	FEEMA DZ-1841, 2002 (item 9.1.8)
São Paulo	Utilização Dispensada	CETESB, 2006

Fonte: Agências ambientais estaduais da região sudeste.

Day, Reinke e Thomson (2001) sugerem que o monitoramento rotineiro da água subterrânea deve ser componente do sistema de detecção de vazamento, especialmente em áreas de alto risco. Micro-vazamentos que não são detectados pelos sistemas de detecção (que geralmente são capazes de detectar vazamentos de 0.2 L/h) apresentam potencial para impactar a água subterrânea especialmente se as condições em subsuperfície não conduzirem a atenuação natural.

A polêmica que envolve a utilização desses poços é o fato da instalação ou manutenção inadequada acabar se tornando uma fonte que estabelece uma conexão entre os contaminantes em superfície e o solo e a água subterrânea quando projetados e utilizado de forma incorreta.

Nos Estados do Rio Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo a utilização dos sistemas de proteção contra vazamentos, derramamentos e transbordamentos de combustíveis leva em consideração a classe do posto (características do entorno definidas pela ABNT NBR13786, 2001 Tabela 09); assim para cada classe de posto, há um conjunto mínimo de equipamentos exigidos.

No Estado de São Paulo, o órgão ambiental considerou, para efeito do licenciamento ambiental, todos os postos sendo da mesma classe (classe 3) e exige que todos os estabelecimentos operem com os mesmos equipamentos de proteção e detecção de vazamentos. A Tabela 08 apresenta alguns dispositivos que protegem os sistemas contra a ação da corrosão.

Tabela 08: Dispositivos para proteção contra a corrosão dos sistemas subterrâneos.

Opção		Descrição
Uso de material não sujeito a corrosão		Estrutura inteiramente de material não sujeito a corrosão, como fibra de vidro (tanques), PEAD - Polietileno de Alta Densidade (tubulações).
Revestimento externo não sujeito a corrosão		Estrutura de aço totalmente encapsulada e isolada através de uma segunda parede com material não sujeito a corrosão. Não se aplica a tubulação.
Proteção Catódica	Ánodo de sacrifício	Um ânodo de sacrifício (peça de metal mais eletricamente ativo que aço e assim sofre efeito da corrosão preferencialmente ao sistema em que está anexado).
	Corrente impressa	Uma corrente contínua é aplicada no solo através de anodos para proteger tubulações e tanques de metal sem revestimento (Figura 09).
Revestimento Interno (Internal lining of tank)		Sistema onde o tanque é revestido internamente através da aplicação de um produto químico que é jateado no interior para proteger da ação da corrosão. Procedimento executado no campo sem a necessidade de remoção do tanque.

Fonte: USEPA (2000).

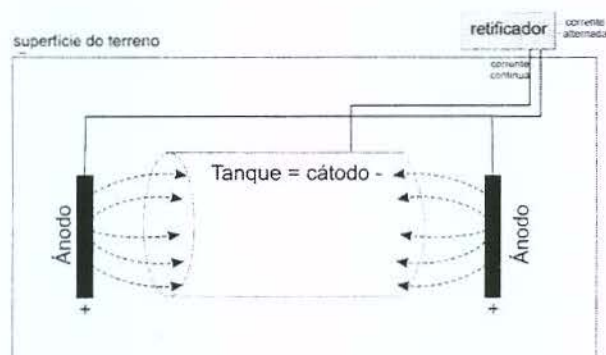


Figura 09: Diagrama de funcionamento do sistema proteção catódica por corrente impressa.

Fonte: modificado de USEPA (2000, p. 34).

4.6 - CLASSIFICAÇÃO E UNIVERSO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Os postos de combustíveis são classificados em: Posto Revendedor, Posto de Abastecimento e Posto Flutuante. O CONAMA, para efeito da necessidade do licenciamento ambiental inclui também as Instalação de Sistema Retalhista (CONAMA 273, 2000, art 2º).

I - Posto Revendedor (PR)

Instalação onde se exerce atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores.

O Brasil possui 29.804 PR's registrados na ANP - Agência Nacional do Petróleo. A Figura 10A apresenta a distribuição por regiões. O Estado de São Paulo concentra a maior parte dos PR's (26,4%) seguido pelos Estados de Minas Gerais (13,1%), Paraná (8,3%), Rio Grande do Sul (7,5%) e Rio de Janeiro (6,5%). Na região sudeste, São Paulo concentra mais da metade dos PR's (Figura 10B) (ANP, 2003).

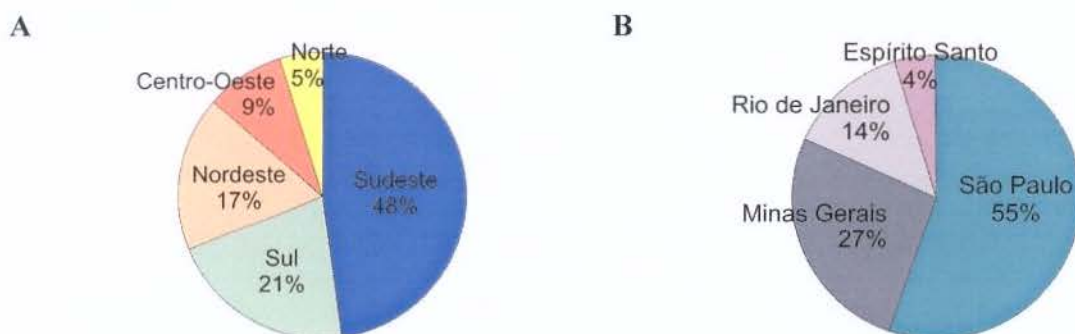


Figura 10A: Distribuição dos postos revendedores por regiões no Brasil.

Figura 10B: Distribuição dos postos revendedores na região sudeste.

Fonte: (ANP, 2003).

II - Posto de Abastecimento (PA)

Instalação que possui equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustível com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas; e cujos produtos sejam destinados exclusivamente ao uso do detentor das instalações ou de grupos fechados de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de empresas, cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados.

Os postos de abastecimento são encontrados em indústrias, garagens de transportadoras, de órgãos públicos, em instalações militares, fazendas, aeroportos e outros.

A distribuição dos postos de abastecimento (cadastrados na ANP, 2006) na região sudeste é a seguinte: Espírito Santo (05), Rio de Janeiro (22), Minas Gerais (143), São Paulo (299).

Estes números não representam a realidade da distribuição desse tipo de posto, pois atualmente a ANP não exige o cadastramento dos PA. Este era obrigatório a partir de 1996 (portaria DNC nº14, 1996), entretanto o cadastramento foi suspenso pela portaria ANP 329, 2003. Conseqüentemente por falta de um cadastro nacional o universo de postos de abastecimento no Brasil é desconhecido.

O projeto das instalações e seleção de equipamentos, assim como nos postos revendedores, deve obedecer às normas da ABNT, as de segurança das instalações, o código de posturas municipais e as exigências do órgão ambiental licenciador.

III - Posto Flutuante

Toda embarcação sem propulsão empregada para o armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis que opera em local fixo e determinado. São encontrados no litoral em marinas, piers ou em hidrovias com grande circulação de embarcações.

IV - Instalação de Sistema Retalhista

Instalação com sistema de tanques para o armazenamento de óleo diesel, e/ou óleo combustível, e/ou querosene iluminante, destinada ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista.

Em 2002, 561 instalações de sistema retalhista de combustíveis encontravam-se registrados na ANP. A distribuição por regiões no Brasil é a seguinte: Sudeste (34,8%), Sul (34,4%), Centro-Oeste (18,7%), Nordeste (7,5%), Norte (4,6%). Por unidade da federação destacam-se São Paulo (20,0%), Paraná (15,3%), Rio Grande do Sul (13,2%) e Mato Grosso (9,8%).

4.6.1 - CLASSIFICAÇÃO DO ENTORNO

Os postos de combustíveis também são classificados de acordo com análise do ambiente do entorno em um raio de 100 metros, conforme Tabela 09. Esta classificação possibilita identificar possíveis receptores de risco e bens a proteger no entorno.

A classificação é exigida no processo do licenciamento ambiental e em alguns Estados é um instrumento que permite a seleção dos equipamentos e sistemas a serem utilizados nos SASC's, de acordo com a classe do estabelecimento.

Tabela 09: Classificação dos postos conforme área do entorno de 100 metros.

Classe 0	Quando não possui nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes:
Classe 1	<p>Rede de drenagem de águas pluviais</p> <p>Rede subterrânea de serviços (água, esgoto, telefone, energia elétrica, etc.).</p> <p>Rua com galeria de drenagem de águas</p> <p>Galeria de esgoto ou de serviços</p> <p>Fossa em área urbana</p> <p>Edifício multifamiliar sem garagem subterrânea, até de 4 andares.</p>
Classe 2	<p>Asilo</p> <p>Favela com cota igual ou superior</p> <p>Escola</p> <p>Hospital</p> <p>Edifício multifamiliar com garagem subterrânea, com mais de 4 andares.</p> <p>Favela com cota igual ou inferior</p> <p>Edifício de escritórios comerciais, com quatro ou mais andares.</p> <p>Garagem ou túnel construído no subsolo.</p> <p>Poço de água, artesiano ou não para o consumo doméstico.</p> <p>Casa de espetáculos ou templo</p>
Classe 3	<p>Favela com cota inferior à do posto</p> <p>Metrô com cota inferior à do solo</p> <p>Garagem residencial ou comercial construída com cota inferior à do solo</p> <p>Túnel construído em cota inferior à do solo</p> <p>Edificação residencial, comercial ou industrial, construída em cota inferior a do solo.</p> <p>Atividades industriais e operações de risco</p> <p>Hospital</p> <p>Metrô</p> <p>Atividades industriais de risco</p> <p>Água no subsolo utilizada para consumo público da cidade (independente do perímetro de 100 metros)</p> <p>Corpos naturais superficiais de água destinados a:</p> <ol style="list-style-type: none"> Abastecimento doméstico Proteção das comunidades aquáticas Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho). Irrigação Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

Fonte: (ABNT NBR 13786, 2001).

4.7 - VALORES ORIENTADORES DE QUALIDADE

Não existem valores orientadores para a concentração de combustíveis no ambiente. O que é definido é a concentração máxima permitida, de forma não apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente, de alguns compostos orgânicos que são encontrados na composição dos combustíveis e que são utilizados como indicadores destes no ambiente.

As agências ambientais, para efeito da identificação do passivo ambiental nos postos de combustíveis, exigem a seleção de pontos estratégicos (baseados em critérios técnicos) para amostragem e análise dos compostos monoaromáticos BTEX's (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos meta, orto, e para) e hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH) no solo e água subterrânea e a interpretação dos resultados através da comparação com listas de valores orientadores.

A escolha destes compostos baseia-se principalmente por serem os componentes com maior tendência a se particionar para fase aquosa e por suas características tóxicas com potencial de causar dano à saúde humana de acordo com a concentração e prazo de exposição (Tabela 10).

Tabela 10: Padrão americano de potabilidade da água e possíveis consequências da exposição por via de ingestão de alguns compostos orgânicos.

Composto	Limite MCLG ⁽¹⁾ (µg/L)	Limite MCL ⁽²⁾ (µg/L)	Efeito potencial à saúde referente à ingestão
Benzeno	Zero	5	Anemia, decréscimo de plaquetas no sangue, carcinogênico (potencialmente cancerígeno).
Tolueno	1.000	1.000	Danos ao sistema nervoso, rim ou fígado.
Etilbenzeno	700	700	Danos nos rins ou fígado.
Xilenos	10.000	10.000	Danos ao sistema nervoso.
Benzo[a]pireno	Zero	0,2	Problemas reprodutivos, e aumento do risco de câncer.

1. MCLG - *Maximum Contaminant Level Goal* - maior nível de um contaminante permitido na água potável abaixo do qual o risco a saúde não é conhecido ou esperado.

2. MCL - *Maximum Contaminant Level* - maior nível de contaminante permitido na água potável. MCL's são definidos o mais próximo possível dos MCLG's levando-se em consideração a melhor tecnologia de tratamento disponível e custo. São padrões obrigatórios.

Fonte: (USEPA, 2002b).

Em um derramamento de gasolina uma das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam utilizados como fonte de abastecimento de água para o consumo humano. Os hidrocarbonetos monoaromáticos BTEX's por estarem presentes em quantidades significativas na gasolina e possuírem a maior solubilidade em água (entre os compostos dos combustíveis), são os contaminantes que primeiro irão atingir a água subterrânea (CORSEUIL; SANTOS; FERNANDES, 1996).

As listas de referências que são utilizadas para estas comparações são elaboradas a partir de avaliações de risco genéricas onde geralmente se utilizam os cenários e parâmetros mais restritivos. A utilização dessas listas não fornece uma resposta definitiva quanto à existência de risco em uma área específica, entretanto é um instrumento importantíssimo na deflagração de um processo de caracterização mais detalhada da área avaliada (CETESB, 1999).

Uma lista amplamente utilizada no Brasil (motivada por falta de parâmetros nacionais ou locais, exceto o Estado de São Paulo que possui parâmetros próprios) é a Lista Holandesa que adota três valores de qualidade (quadro 01):

Quadro 01: Valores de referência adotados pela Lista Holandesa.

Valor de referência (S): indica um nível de qualidade do solo e da água subterrânea que permite considerá-los “limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade.

Valor de intervenção (I): indica um nível de qualidade do solo acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. A ultrapassagem desse valor (média) em um volume de solo de 25 m³ ou em 100 m³ de água subterrânea indica a necessidade de implementação na área avaliada de ações voltadas para a sua remediação.

Valor de alerta (T): é um valor médio entre os dois primeiros S e I. Ele indica que já ocorreu certa alteração que diminuiu, ainda que pouco, as propriedades funcionais do solo, sendo necessária uma investigação detalhada na área para quantificação dessa alteração e monitoramento.

Fonte: (CETESB, 1999, cap. VI-6530, p.1).

No Estado do Rio de Janeiro, o órgão ambiental FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), para efeito do licenciamento ambiental dos postos, adota como

valor de intervenção na água subterrânea os valores estabelecidos pela Portaria nº. 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde (Norma de Qualidade da Água para o Consumo Humano).

Os demais parâmetros que não constam nesta portaria e os valores de referência para solo são baseados na Lista Holandesa (FEEMA DZ-1841, 2002) (Tabela 11).

Tabela 11: Valores de referência para compostos monoaromáticos e poliaromáticos baseados na lista holandesa e padrão brasileiro de potabilidade da água.

Parâmetro	Água subterrânea (µg/L)				Solo (mg/kg)		
	Lista Holandesa ⁽¹⁾			MS	Lista Holandesa ⁽²⁾		
	S	T	I		S	T	I
Hidrocarbonetos monoaromáticos							
Benzeno	0,2	15	30	5	0,05	0,53	1,00
Tolueno	0,2	500	1000	170	0,05	65,0	130
Etilbenzeno	0,2	75	150	200	0,05	25,0	50,0
Xilenos (soma)	0,2	35	70	300	0,05	12,5	25,0
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos							
Naftaleno	0,1	35	70				
Fenantreno	0,02	2,5	5				
Antraceno	0,02	2,5	5				
Fluoranteno	0,005	0,5	1				
Benzo(a)antraceno	0,002	0,25	0,5				
Criseno	0,002	0,026	0,05				
Benzo(k)fluoranteno	0,001	0,026	0,05				
Benzo(a)pireno	0,001	0,026	0,05	0,7			
Benzo(ghi)perilene	0,0002	0,025	0,05				
Indenol(1,2,3cd)pireno	0,0004	0,025	0,05				
PAH (soma)					1,0	20,5	40,0

S - Valor de Referência; T - Valor de Alerta; I - Valor de Intervenção; MS - Ministério da Saúde (Portaria 518/2004).

1. Para água subterrânea os valores são os mesmos para solo com teor de argila de 0 a 25% e teor de matéria orgânica de 0 a 10%.

2. Para solo a Lista Holandesa considera valores diferentes de acordo com o teor de argila e matéria orgânica (o apresentado considera teor de argila de 25% e matéria orgânica de 10%).

Fonte: CETESB, 1999; BRASIL, 2004.

A adoção destas listas é um instrumento de avaliação preliminar com caráter qualitativo do risco, pois não levam em consideração as especificidades de cada sítio.

Extrapolado o valor de alerta, é necessário uma Investigação Detalhada. Quando extrapolado o valor de intervenção (a área é considerada contaminada e indica existência de risco

potencial à saúde humana) neste caso além da Investigação Detalha é necessário uma avaliação quantitativa do risco levando em consideração variáveis ambientais e humanas do sítio.

A quantificação do risco é um instrumento que permite a tomada de alguma medida de intervenção no sítio para proteger a saúde humana (minimizando as vias de exposição restringindo o acesso e consumo da água subterrânea) além de julgar a necessidade da remediação.

Caso a intervenção recomendada seja a remediação propõe-se que o alvo a ser atingido, ou seja, a concentração do contaminante após o término da remediação seja determinado pela avaliação de risco específica tendo como valor orientador o valor de alerta (CETESB, 2001).

A utilização desta ferramenta (avaliação do risco) no processo de remediação busca suprir as limitações tecnológicas que impedem que o sítio seja remediado até nível zero e reduzir o alto custo envolvido neste processo.

No Estado de São Paulo, a CETESB desenvolveu parâmetros próprios de Qualidade do Solo e Águas Subterrâneas (CETESB, 2005e) baseados em 3 cenários diferentes de utilização do solo (agrícola, residencial e industrial) (Tabela 12), com o método proposto pela Lista Holandesa. Foram integrados os critérios de potabilidade da água do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e padrões da Organização Mundial da Saúde - OMS, com as especificidades dos aquíferos paulistas e as características dos solos deste Estado. Foram definidos os seguintes valores (quadro 02):

Quadro 02: Classificação dos Valores Orientadores do Estado de São Paulo.

Valor de Referência de Qualidade: é a concentração de determinada substância no solo ou água subterrânea que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras em diversos tipos de solo e água subterrânea de diversos aquíferos do Estado de São Paulo. Deve ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas.

Valor de Prevenção: é a concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Foi determinado para solos com

base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade deve ser submetida à nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes monitorar os impactos decorrentes.

Valor de Intervenção: é a concentração de determinada substância no solo ou água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana considerando um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição agrícola-área de proteção máxima, residencial e industrial.

Fonte: (CETESB, 2005e, p. 2).

Tabela 12: Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

Parâmetro	Solos (mg/kg de peso seco)					Água Subt. (µg/L)
	Referência de Qualidade	Prevenção	Intervenção			
			Agrícola	Residencial	Industrial	
Hidrocarbonetos monoaromáticos						
Benzeno	N.A.	0,03	0,06	0,08	0,15	5
Tolueno	N.A.	0,14	30	30	75	700
Etilbenzeno	N.A.	6,2	35	40	95	300
Xilenos (soma)	N.A.	0,13	25	30	70	500
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos						
Naftaleno	N.A.	0,12	30	60	90	140
Fenantreno	N.A.	3,3	15	40	95	140
Antraceno	N.A.	0,039				
Benzo(a)antraceno	N.A.	0,025	9	20	65	1,75
Criseno	N.A.	8,1				
Benzo(k)fluoranteno	N.A.	0,38				
Benzo(a)pireno	N.A.	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7
Benzo(ghi)perileno	N.A.	0,57				
Indeno(1,2,3cd)pireno	N.A.	0,031	2	25	130	1,75
Dibenzo(a,h) antraceno	N.A.	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18

N.A. = não se aplica a substâncias orgânicas.

Fonte: (CETESB, 2005e, p. 3).

4.8 - O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Em 1981 foi publicada a Lei Federal nº. 6.938 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente e constituiu o SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente.

Nesta lei, foram definidos o licenciamento ambiental, e a revisão das atividades efetivas ou potencialmente poluidoras como um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (artigo 9º).

Foi estabelecida também, a necessidade do licenciamento pelo órgão competente quando atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional (para a construção, instalação, ampliação e funcionamento) de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os capazes sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (artigo 10).

O licenciamento ambiental refere-se a permissão que o(s) órgão(s) ambiental(is) fornece(m) ao empreendedor para que o mesmo possa realizar seu empreendimento. Engloba procedimentos técnico-científicos, administrativos e jurídicos, que subsidiam a tomada de decisão sobre licenciar ou não atividades potencialmente poluidoras (IAP, 2004).

O CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (criado pela mesma lei) é órgão Consultivo e Deliberativo do SISNAMA e dentro de suas atribuições possui a competência de baixar normas necessárias à execução e implementação da Política Nacional do Meio Ambiente.

Em 1997 o CONAMA editou a Resolução nº. 237 estabelecendo os critérios para o licenciamento ambiental referido no artigo 10 da Lei Federal nº. 6.938. Esta resolução apresentou uma relação de atividades efetivamente ou potencialmente poluidoras sujeitas ao licenciamento ambiental; entretanto, os postos de combustíveis não figuravam nesta relação.

Apenas no ano 2001, com a publicação da Resolução nº. 273, o CONAMA definitivamente reconheceu os postos de combustíveis como uma atividade potencialmente poluidora e geradora de acidentes ambientais, baseado nas possíveis consequências dos vazamentos, em especial a contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos, do solo e do ar.

Esta resolução estabeleceu a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para a localização, instalação, modificação, ampliação e operação dos postos revendedores, postos de abastecimento, instalações retalhistas e postos flutuantes (artigo 1º), bem como a necessidade de

todos os projetos construtivos, modificação e ampliação seguirem as normas técnicas da ABNT, por diretrizes estabelecidas na resolução ou exigências do órgão ambiental licenciador.

Segundo Monteiro e Setzer (2001), previamente a publicação desta resolução específica para os postos de combustíveis, a necessidade do licenciamento dependia do entendimento de cada órgão estadual competente.

Os mesmos autores citam o Instituto Ambiental do Paraná - IAP que sustentava que os postos de combustíveis eram empreendimentos poluidores e, nos termos da Lei 6.938, sujeitos ao licenciamento. Quando exigido fundamentava-se na definição de poluição (art. 3º da mesma lei) considerando que as atividades desenvolvidas nos postos poderiam causar danos à saúde e ao meio ambiente e afetar a segurança e o bem estar da população e o artigo 10.

O artigo 5º da resolução CONAMA nº. 273 apresenta os documentos necessários para o processo de licenciamento no órgão ambiental. Dentre estes o projeto construtivo, equipamentos e sistemas de monitoramento, classificação do ambiente do entorno, autorização de funcionamento da Agência Nacional do Petróleo, prefeitura e outros documentos além da necessidade da caracterização de algumas propriedades geológicas, hidrogeológicas (quadro 03) e o resultado da investigação do levantamento do passivo ambiental.

Quadro 03: Propriedades geológicas/hidrogeológicas exigidas para o licenciamento ambiental.

Caracterização geológica do terreno onde se insere o empreendimento com a análise de solo, contemplando a permeabilidade do solo e o potencial de corrosão.

Caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado registrados nos órgãos competentes até a data de emissão do documento, no raio de 100 metros considerando as possíveis interferências das atividades com corpos d'água superficiais e subterrânea.

Fonte: (CONAMA 273, 2000, art. 5º, I, e-f.).

Outras propriedades geológicas/hidrogeológicas apesar de não estarem descritas no quadro acima apenas são caracterizadas ao se confirmar que a área está contaminada. Neste caso existe a necessidade de se quantificar a contaminação, avaliando detalhadamente as

características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando-se as suas dimensões, volumes, tipos de contaminantes presentes e suas concentrações (CETESB, 1999).

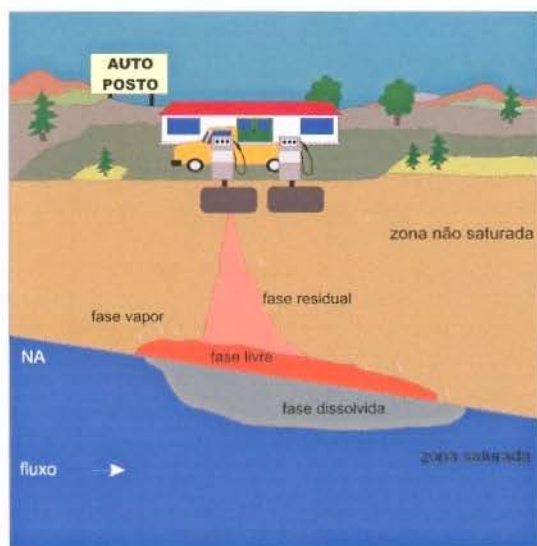
Para o entendimento e a construção de um modelo do comportamento e transporte dos contaminantes em subsuperfície é necessário determinar algumas propriedades físicas do meio tais como: porosidade total, porosidade efetiva, umidade, densidade, granulometria, condutividade hidráulica, cálculo de velocidade de fluxo, espessura das zonas não-saturadas e saturada, tipo de aquífero, variação do nível d'água, características físico-químicas do contaminante e o estabelecimento de perfis e seções litológicas.

4.9 - COMPORTAMENTO DOS COMBUSTÍVEIS EM SUBSUPERFÍCIE

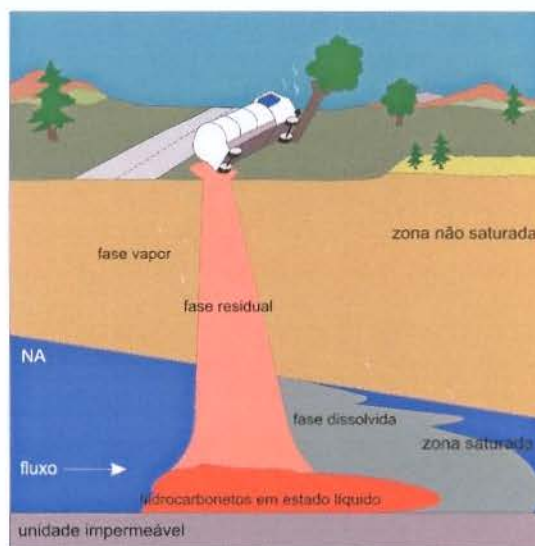
Os hidrocarbonetos podem ser encontrados no subsolo em fase líquida não aquosa isto é, em fase imiscível denominado NAPL (*NonAqueous Phase Liquid*). Diferenças nas propriedades físicas e químicas da água e do NAPL resultam na formação de uma interface física entre os líquidos que os impede de se misturarem.

Os NAPL's classificam-se em LNAPL (*Light NonAqueous Phase Liquid*) quando apresenta densidade menor que da água e DNAPL (*Dense NonAqueous Phase Liquid*) com densidade maior que da água (USEPA, 1995). A Figura 11 sintetiza as possíveis consequências ambientais dos acidentes envolvendo os NAPL's.

Os vazamentos de derivados de petróleo são os contaminantes LNAPL mais freqüentes encontrados na água subterrânea.



Ex. LNAPL - Líquidos orgânicos como a gasolina que é pouco solúvel em água e menos densa que a mesma, tendem a permanecer no topo da zona saturada caso consiga atingi-la.



Ex. DNAPL - Líquidos orgânicos como o tricloroetileno que são pouco solúveis em água e são mais densos que água podem afundar até a base do aquífero quando ocorre o derramamento.

Figura 11: Comportamento dos hidrocarbonetos nos aquíferos de acordo com a densidade.
Fonte: modificado de Fetter (2001, p. 422).

Os constituintes dos hidrocarbonetos de petróleo podem se fracionar em quatro fases na subsuperfície: fase vapor, fase residual (adsorvido nas partículas do solo incluindo a matéria orgânica ou absorvido por forças capilares), fase aquosa (dissolvido na água) e fase livre (hidrocarbonetos líquidos). O fracionamento entre estas fases é determinado por processos de volatilização, dissolução, e sorção (USEPA, 1996a).

O comportamento e o transporte dos componentes dos combustíveis em subsuperfície são determinados por suas características físicas, químicas e pelas condições hidrogeológicas e geoquímicas do sítio contaminado.

Day, Rienke e Thomson (2001) descrevem a relação entre algumas propriedades dos constituintes dos combustíveis (Tabelas 13 e 14) e os processos de fracionamento entre fases:

Processo de volatilização: juntamente com a condensação descreve a troca de um composto volátil entre a água e o ar ou vice versa.

A propriedade pressão de vapor de um componente do combustível é uma medida da tendência do combustível particionar da fase líquida para a fase vapor. É a pressão exercida quando um sólido ou líquido está em equilíbrio com o seu vapor. A pressão parcial de um componente volátil em equilíbrio no combustível é igual à pressão de vapor pura multiplicado pelo seu conteúdo fracional no combustível como descrito pela Lei de Raoult. Quanto maior a pressão parcial do componente maior a facilidade de volatilizar.

O particionamento de um composto entre o ar e a água é dado pela constante da Lei de Henry, definido como $H = C_{ar} / C_{água}$; sendo C_{ar} a concentração do composto no ar e $C_{água}$ na água. É a medida relativa da volatilidade da solução. Pode ser expressa como o número de moléculas ou massa do composto que existe no ar versus água. Se $C_{ar} > C_{água}$ o composto tem afinidade para se particionar para a fase vapor. Se $C_{ar} < C_{água}$ o composto tem afinidade a ser dissolvido em água. Esta taxa de particionamento permanecerá até o composto atingir a saturação tanto no ar quanto na água (HARTMAN, 1998).

Para os alcanos de baixo peso molecular (metano até o hexano), a constante de Henry varia entre 30 a 50. Considerando um composto com constante 50, em um sistema em equilíbrio com volumes iguais de vapor no solo e água, 50 moléculas desse alcano estarão na fase vapor para cada uma dissolvida na água.

Em contraste os aromáticos (BTEX) a constante de Henry é aproximadamente 0,25 e no mesmo sistema para cada 1 molécula na fase vapor 4 estarão dissolvidas na água. Assim os alcanos irão particionar aproximadamente 200 vezes mais que os aromáticos ($50 / 0,25$).

Tabela 13: Pressão de Vapor e Constante da Lei de Henry de alguns compostos orgânicos a 20°C.

Composto	Pressão de Vapor (mmHg)	Composto	Constante da Lei de Henry (adimensional)
n-butano	1.560	n-hexano	36,61
metil terc butil éter	245	n-butano	25,22
n-hexano	121	etilbenzeno	0,322
benzeno	76	xilenos	0,304
tolueno	22	tolueno	0,262
etilbenzeno	7	benzeno	0,215
xilenos	6	metil terc butil éter	0,018
naftaleno	0,5	naftaleno	0,018

Valores acima da linha tracejada indicam que técnica de amostragem ativa de VOC é eficaz.

Fonte: (USEPA, 1997b, cap. IV, p. 3).

Tabela 14: Propriedades físico-químicas de alguns componentes da gasolina.

Composto	Fórmula empírica	Peso Molecular	Solubilidade em Água a 25° C (mg/L)	Pressão de Vapor a 20°C (mmHg)	Constante de Adsorção do solo K _{oc} (1/kg)
n-butano	C ₄ H ₁₀	58,12	61,4	1.560	490
isobutano	C ₄ H ₁₀	58,12	48,9	2.250	420
l-penteno	C ₅ H ₁₀	70,14	148	531	460
n-pentano	C ₅ H ₁₂	72,15	41,2	424	910
isopentano	C ₅ H ₁₂	72,15	48,5	575	880
benzeno	C ₆ H ₆	78,11	1.780	75,2	190
ciclohexano	C ₆ H ₁₂	84,16	59,7	77,6	960
l-hexeno	C ₆ H ₁₂	84,16	50	150	910
n-hexano	C ₆ H ₁₄	86,18	12,5	121	1.900
2-metilpentano	C ₆ H ₁₄	86,18	14,2	172	1.500
tolueno	C ₇ H ₈	92,14	537	21,8	380
metilciclohexano	C ₇ H ₁₄	98,19	15	36,2	1.800
n-heptano	C ₇ H ₁₆	100,20	2,68	35,6	4.300
2-metilhexano	C ₇ H ₁₆	100,23	2,54	51,9	3.200
etilbenzeno	C ₈ H ₁₀	106,17	157	7,08	680
m-xileno	C ₈ H ₁₀	106,17	162	6,16	720
n-octano	C ₈ H ₁₈	114,23	0,66	10,5	8.200
2,4-dimetilhexano	C ₈ H ₁₈	114,23	1,5	23,3	5.200
1,3,5-trimetilbenzeno	C ₉ H ₁₂	120,20	72,6	1,73	940
2,2,4-trimetilhexano	C ₉ H ₂₀	128,24	11,3	11,3	8.700
1,4-dietilbenzeno	C ₁₀ H ₁₄	134,22	15	0,697	2.900
2,2,5,5-tetrametilhexano	C ₁₀ H ₂₂	142,49	0,13	6,47	14.000
dodecano	C ₁₂ H ₂₆	170,30	0,005	0,075	88.000

Alguns valores incluindo todos os valores de K_{oc}, são estimados através de relações empiricamente derivadas.

Fonte: (API, 1993 *apud* GUIGUER, 2000, p. 19).

Conseqüentemente se um volume igual de alcanos e aromáticos vazarem, na área fonte os alcanos serão encontrados em concentrações muito maiores na fase vapor. Entretanto por causa do particionamento dos alcanos fora da fase dissolvida os aromáticos são os que mais proverão uma indicação de contaminantes dissolvidos na água (USEPA, 1997b).

Processo de dissolução: descreve o particionamento do hidrocarboneto líquido para a fase aquosa. Tende a ocorrer na água dos poros da zona não-saturada e na zona saturada.

A água que infiltra e que passa por solos afetados por combustíveis irá tender a dissolver os componentes no solo. A propriedade solubilidade em água é provavelmente a mais importante que afeta o particionamento dos compostos orgânicos entre o combustível e a água.

A solubilidade em água também afeta o particionamento dos compostos orgânicos entre a água e os sólidos em subsuperfície. Muitos compostos orgânicos exibem baixa solubilidade em água. No geral essa baixa solubilidade indica um forte particionamento ao carbono orgânico associado aos sólidos de subsuperfície.

Alta solubilidade resulta na tendência a ficar na fase aquosa e não ser sorvido pelo solo. A tendência de um composto ser adsorvido pela fração de carbono orgânico do solo é refletido pelo seu coeficiente de partição orgânica (Koc). Alto Koc reflete afinidade em ser adsorvido pelo solo.

Guiguer (2000) exemplifica que os alifáticos com peso molecular maior (como o dodecano) tendem a permanecer na superfície do sólido (alta adsorção) e compostos com baixo Koc tendem a não permanecer na superfície do sólido do solo e portanto são mais facilmente transportados pela água que se infiltra. A adsorção de hidrocarbonetos no solo aumenta com o declínio de umidade e um aumento de conteúdo orgânico.

Constituintes dos combustíveis que se dissolveram na água irão migrar a uma taxa dependendo da tendência deste ser adsorvido pela matriz do solo. A relação entre a velocidade da água subterrânea e a velocidade com que o composto é transportado é chamado de fator de retardação, R. O valor de R de um composto particular depende do coeficiente de partição orgânica (Koc) e das propriedades do aquífero como porosidade, densidade e conteúdo de carbono orgânico. Um composto que se move na metade da velocidade da água subterrânea tem R igual a 2.

Degradação: refere-se a reações bióticas/abióticas e outros compostos orgânicos podem ser formados como subprodutos deste processo. A completa degradação (mineralização) de um composto orgânico a dióxido de carbono e água é freqüentemente associada com algum tipo de atividade microbiana. As transformações biológicas podem envolver muitas reações e podem requerer um longo período para se completar, mas sempre provem o caminho predominante de decaimento no solo e água.

A biodegradação da fase vapor é freqüentemente mais rápida que da fase aquosa porque podem ocorrer trocas atmosféricas que permite introdução contínua de oxigênio para promover a respiração aeróbica.

Os principais fenômenos físicos que controlam a migração dos compostos orgânicos no solo são: advecção, dispersão (dispersão hidráulica e difusão molecular), adsorção (e desorção), retardamento, transformações químicas e biológicas (GUIGUER, 2000).

Nos vazamentos em subsuperfície os combustíveis se comportam da seguinte maneira:

Inicialmente movem-se verticalmente (para baixo) na zona não-saturada em função da gravidade e forças capilares. Algum espalhamento horizontal ocorre devido às forças capilares e diferenças de condutividades hidráulicas. Este escoamento é fortemente influenciado pelas características físicas do solo. Caso o tanque estiver na zona não-saturada e o material utilizado no aterramento for mais permeável que o solo nativo, o combustível tenderá a se espalhar e acumular na base da cava do tanque (USEPA, 1996a).

Oliveira (1992) destaca que durante esta migração os produtos podem encontrar utilidades subterrâneas (tubulação de água, esgoto, telefonia, eletricidade, metro etc.) considerando que muitas vezes os postos de combustíveis se localizam em áreas urbanas.

Caso o volume vazado for pequeno e não exceder a capacidade natural de retenção do solo os hidrocarbonetos tenderão a ficar sorvidos nas partículas do solo e essencialmente a totalidade da massa será imobilizada.

Com a continuidade do vazamento, o solo se torna cada vez mais saturado e o combustível continua migrando verticalmente, deixando hidrocarbonetos líquidos retidos pelas forças capilares do solo. Isso é conhecido como saturação residual. A ação de processos de sorção também retiram componentes da fase líquida e passam para a fase sólida. Estes hidrocarbonetos líquidos retidos no solo são denominados de **FASE RESIDUAL**.

A fase residual na zona não-saturada geralmente pode ser efetivamente remediada *in situ* promovendo a volatilização e a estimulação de processos biológicos (USEPA, 1996a).

Se os hidrocarbonetos líquidos excederem a capacidade de retenção da zona não-saturada e atingirem o nível d'água estes tenderão a flutuar e se espalhar no topo da zona saturada devido à baixa densidade, formando uma fase imiscível denominada de **FASE LIVRE**. Algumas variáveis, incluindo o volume do vazamento, profundidade do nível d'água e capacidades de adsorção determinarão se os hidrocarbonetos líquidos atingirão o nível d'água.

Finotti (2003) define a fase livre como uma porção de contaminação dentro do meio poroso que se encontra em um grau de saturação tal que a ação das forças capilares não é suficiente para impedir sua movimentação, ou seja, a fase livre se encontra em saturação acima da saturação residual e apresenta continuidade e mobilidade constituindo uma parcela da contaminação que teoricamente pode ser retirada do meio poroso.

A fase livre não flutua acima da água subterrânea como se pode sugerir de forma análoga de um óleo flutuando em um tanque. A fase livre permanece como se fosse um iceberg com uma parte submersa (API, 2003).

A fase livre começa a migrar a jusante em resposta a gravidade e ao fluxo da água subterrânea. A velocidade do movimento a jusante pode variar significativamente, dependendo de fatores como a velocidade do fluxo da água subterrânea, volume do vazamento e a condutividade hidráulica do aquífero (GUIGUER, 2000).

Nos casos de investigação ambiental, a constatação de fase livre indica a contaminação sendo esta condição suficiente para que a área seja declarada contaminada (CETESB, 2003) e para se iniciar um processo de detalhamento espacial da contaminação.

Porções de massa de hidrocarboneto tanto da fase residual e fase livre irão volatilizar e solubilizar para se tornar componentes do vapor do solo e da água subterrânea, respectivamente. A volatilização e solubilização das frações leves tende a tornar a massa do hidrocarboneto remanescente depletado, mais denso e menos móvel (USEPA, 1996a). Hidrocarbonetos líquidos e dissolvidos que emanam da fase residual agem como fonte de contaminantes para a zona saturada.

As variações do nível freático promovem um espalhamento vertical dos hidrocarbonetos líquidos (Figura 12). O movimento descendente resulta em hidrocarbonetos residuais presos ao solo na zona não-saturada, enquanto que o movimento ascendente resulta em um aparente desa-

parecimento do produto livre, ao passo que uma nova fase residual é desenvolvida. Quando o nível abaixa esta fase residual pode ser remobilizada e produzir produto em fase livre novamente. A remobilização é algumas vezes confundida com um novo vazamento (OLIVEIRA, 1992).

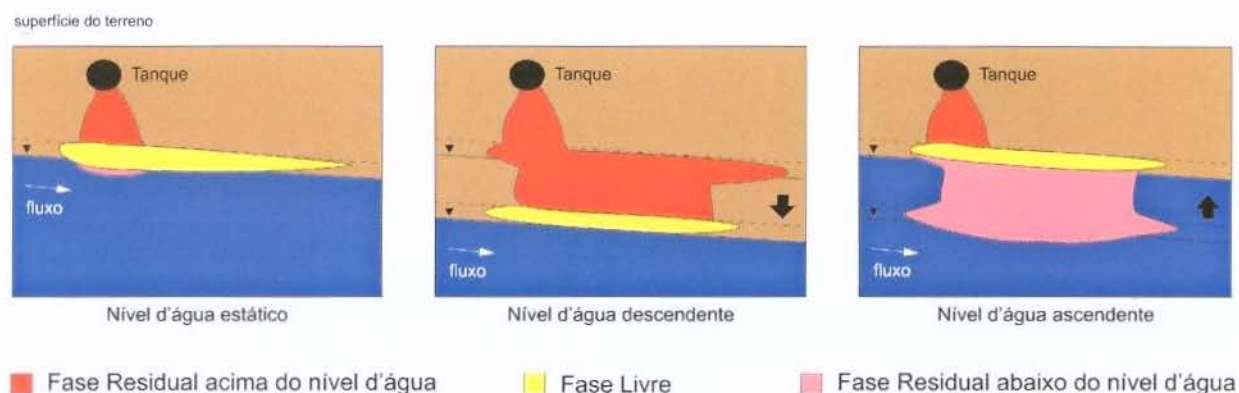


Figura 12: Efeitos da variação do nível d'água no reposicionamento da fase residual.

Fonte: (SCHWILLE, 1986 *apud* GUIGUER, 2000, p. 28).

Logo que os hidrocarbonetos líquidos entram em contato com a água da subsuperfície a dissolução de componentes solúveis do combustível se inicia. Assim se forma uma pluma de **FASE DISSOLVIDA** que se desenvolve gradiente a baixo.

Em subsuperfície o contato entre os combustíveis líquidos e a água pode acontecer de diversas maneiras (GUIGUER, 2000):

- Infiltração de água através da zona não-saturada contendo hidrocarbonetos residuais;
- Movimentação da água subterrânea que se infiltra em contato com a pluma de contaminação de fase livre;
- Fluxo de água que passa por hidrocarbonetos residuais não dissolvidos presentes abaixo do nível d'água.

Os constituintes em fase de vapor que tipicamente consistem em alifáticos (alcanos) e compostos aromáticos, podem também se dissolver em água.

Os constituintes dos combustíveis que apresentam a maior solubilidade em água, portanto são prontamente solubilizados, são os compostos BTEX. Devido esta propriedade e os efeitos nocivos à saúde humana, a análise destes compostos no solo e na água subterrânea é exigida no

processo de levantamento de passivos ambientais em postos de combustíveis e estes são os compostos utilizados como indicadores de combustíveis no ambiente.

Para constituintes biodegradáveis, a pluma de fase dissolvida na água subterrânea continua a crescer até o equilíbrio ser estabelecido entre a dissolução de constituintes solúveis do hidrocarboneto líquido e a taxa de biodegradação. Neste ponto a pluma estabiliza espacialmente. Para constituintes não biodegradáveis, a pluma de fase dissolvida continua a se expandir até que o equilíbrio é alcançado entre a taxa de dissolução dos hidrocarbonetos líquidos e a taxa de dispersão (espalhamento) e diluição (API, 2002).

Newell e Connor (1998), após compilação de quatro grandes estudos envolvendo 604 sítios contaminados por vazamentos de combustíveis de tanques subterrâneos nos EUA, revelaram que aproximadamente 75% das plumas de fase dissolvida nestes sítios têm comprimento inferior a 200 ft (~ 61 m) e a média encontrada foi 132 ft (~ 40 m).

Mace *et al.* (1997 *apud* NEWELL E CONNOR, 1998) após análise em 217 sítios contaminados por combustíveis nos EUA concluíram que o comprimento da pluma de fase dissolvida não pode ser prognosticado a partir das variáveis: profundidade do nível d'água, gradiente hidráulico, percentual de carbono orgânico na formação e atividades prévias de remediação. São fatores que têm maior influência no comprimento da pluma: a quantidade de combustível vazado e taxa de biodegradação natural.

Rice *et al.* (1995) após análise em 271 sítios concluíram que parâmetros hidrogeológicos individuais como (profundidade do nível d'água, espessura da zona saturada, gradiente hidráulico), espessura da fase livre, atividades prévias de remediação, ou estes combinados, têm pequena correlação com o comprimento da fase dissolvida. Índícios de transporte que em teoria poderiam afetar o comprimento da pluma, como velocidade do fluxo, não apresentaram correlação com o comprimento da pluma de fase dissolvida.

Estes estudos sugerem que o volume do vazamento é provavelmente uma das variáveis principais que controlam o comprimento da pluma. Grandes fontes (em termos de massa e volume afetado de solo) significam que mais constituintes serão dissolvidos e transferidos para a água subterrânea criando longas plumas de fase dissolvida

A volatilização dos compostos presentes na zona não-saturada a partir da fase residual e fase livre, e numa escala menor, a partir de hidrocarbonetos em fase dissolvida presentes na água

do solo constituem a **FASE VAPOR**. Segundo Guiguer (2000) essa fase apresenta as seguintes características:

Nos vapores de um vazamento recente de gasolina, os constituintes de alta pressão de vapor e de peso molecular menor (ex. butano ou pentano) geralmente correspondem a cerca de 75 a 85% dos hidrocarbonetos em fase vapor em equilíbrio com a gasolina mais nova. Um vazamento de hidrocarbonetos mais antigo apresentará concentrações menores de constituintes voláteis e conseqüentemente o líquido que sobrar terá uma pressão de vapor menor.

Uma parte de hidrocarbonetos em fase de vapor pode aderir ao solo ou ser adsorvida. O vapor da água e o vapor dos hidrocarbonetos disputam os mesmos locais de adsorção nos sólidos do solo. Em geral, a água pode reduzir dramaticamente a capacidade de adsorção do solo para hidrocarbonetos em fase vapor.

Em solo seco ou solo com uma concentração baixa de umidade, a quantidade adsorvida está diretamente relacionada à área da superfície das partículas do solo e à quantidade de matéria orgânica. A área da superfície disponível para a adsorção é reduzida, enquanto a quantidade de água no solo aumenta. Logo, um solo seco poroso pode adsorver hidrocarbonetos em fase de vapor mais prontamente que um solo relativamente úmido.

Os principais parâmetros que controlam a migração de vapores na zona vadosa são as propriedades físicas e químicas do contaminante (pressão de vapor, constante da Lei de Henry), geologia do sítio (permeabilidade) e processos biológicos.

A detecção da fase vapor pode ser feita através de duas técnicas: campanha ativa e passiva. Na campanha de detecção de vapores de forma ativa um volume de vapor do solo é bombeado da zona vadosa para um dispositivo de análise no campo (freqüentemente utilizado monitores portáteis de gases) utilizados para a detecção de compostos orgânicos voláteis (VOC). O quadro 04 apresenta as condições do sítio onde este sistema é eficaz.

No procedimento passivo, um material absorvente é instalado em subsuperfície e permanece no solo absorvendo vapores com o tempo. Pode levar dias ou semanas e são mais úteis para detecção de compostos orgânicos semivoláteis (SVOC) (USEPA, 1997b).

Quadro 04: Síntese dos critérios gerais para amostragem ativa de vapores.

Vapor de pressão > 0,5 mm Hg
Constante da Lei de Henry > 0.1
Grau de saturação do solo < 80%
Zona amostrada sem argila

Fonte: (USEPA, 1997b, cap. IV, p. 6).

Devido a alta mobilidade da fase vapor esta pode ser efetivamente remediada com a utilização de tecnologias de *vacuum-air-flow* (USEPA, 1996a).

O particionamento entre as fases e conseqüentemente os diferentes volumes estimados em subsuperfície (em um aquífero de areia média com nível d'água aproximadamente 5 metros) foi apresentado por Wilson e Brown (1989 *apud* USEPA, 1996a) (Tabela 15).

Grande parte da quantidade vazada (64%) permanece em fase livre entretanto o volume contaminado pela fase residual e fase dissolvida representa praticamente 99% do volume total contaminado. Apesar dos hidrocarbonetos em fase dissolvida representarem uma pequena porção da massa de hidrocarbonetos lançados, estes representam o maior volume de contaminação (79%) e se espalham pela maior área. Estes também representam a mais provável rota de exposição entre os humanos e o ambiente ocasionado pela alta mobilidade desta fase.

Tabela 15: Distribuição de fases de um vazamento de 30.000 gal (113,56 m³) de gasolina.

Fase	Volume do contaminante m ³ (1)	% total do contaminante	Volume contaminado m ³ (2)	% do total contaminado
Livre	70,03	64	5428,33	1
Residual	37,85	35	191138,71	20
Dissolvida	1,26	1	733972,66	79

1. original expresso em galões (gal); 2. original expresso em jardas cúbicas (yd³).

Fonte: Wilson e Brown (1989 *apud* USEPA, 1996a, cap. III. p.7).

A Figura 13 sintetiza as quatro fases da contaminação em subsuperfície nos vazamentos subterrâneos nos postos de combustíveis.

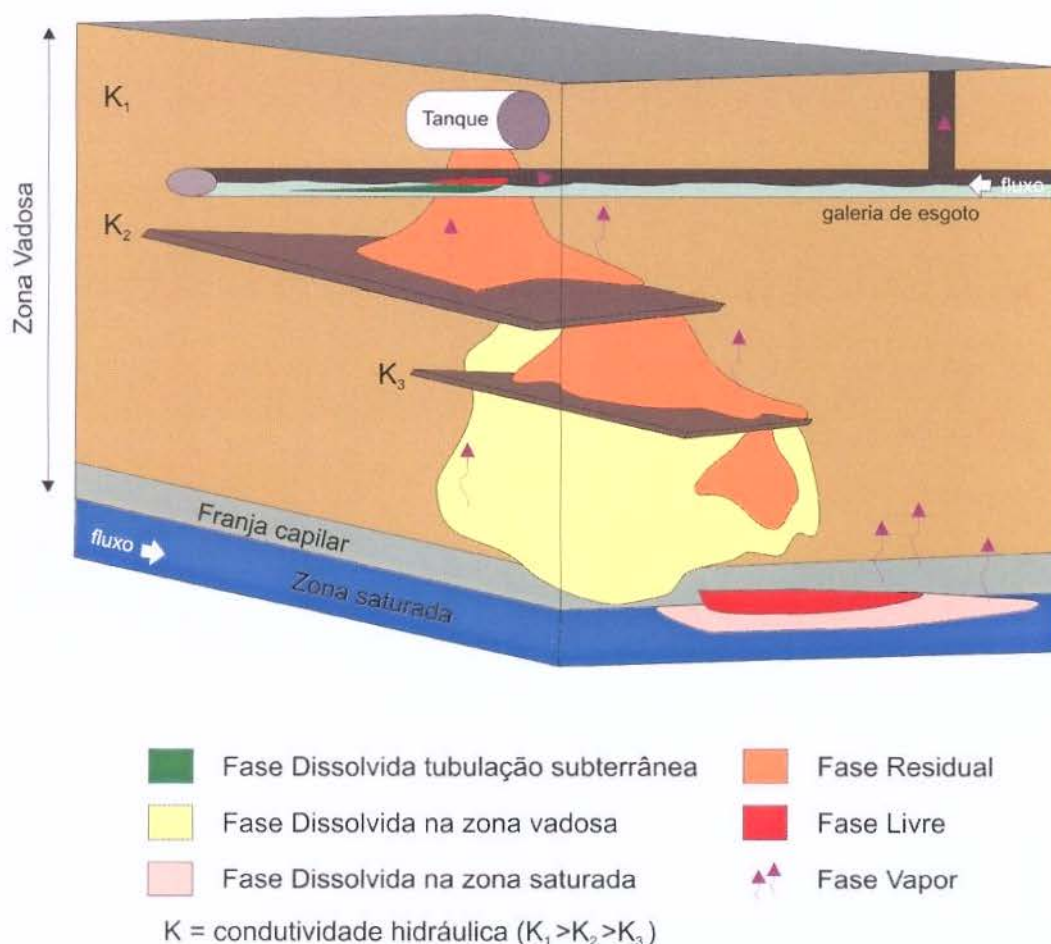


Figura 13: Fases das contaminações por combustíveis em subsuperfície.
Fonte: Adaptado de Oliveira (1992) e Guiguer (2000).

Rice *et al.* (1995) analisando as características de 271 sítios contaminados por combustíveis provenientes de tanques subterrâneos na Califórnia-EUA, estimaram o volume de água subterrânea contaminada por benzeno neste país multiplicando o volume médio encontrado das plumas 0,7 acre-ft ($8,63 \cdot 10^4 \text{ m}^3$) delimitada a partir da concentração de $1 \text{ } \mu\text{g/L}$ pelo total de áreas contaminadas. Dividindo este valor pela capacidade de armazenamento total de água subterrânea foi possível estimar o percentual do recurso subterrâneo impactado nos EUA (Tabela 16).

Apesar do volume de água subterrânea contaminada não ser muito grande, geralmente estes acidentes afetam mais prontamente os aquíferos rasos que são os mais utilizados pela população das áreas vizinhas a estes estabelecimentos para abastecimento próprio.

Tabela 16: Estimativa do volume de água subterrânea contaminada por benzeno proveniente de vazamentos nos tanques dos postos de combustíveis nos EUA.

Local	Volume da pluma ⁽¹⁾ de benzeno (m ³)	X	Nº. de áreas contaminadas	=	Volume total das plumas de benzeno (m ³)	/	A.S. volume do recurso (m ³)	=	% total de A.S. impactada
Califórnia	8,63*10 ⁴ ⁽²⁾		10.000 ⁽³⁾		8,63*10 ⁸		1,60*10 ¹⁴ ⁽⁵⁾		0,0005%
EUA	8,63*10 ⁴		448.807 ⁽⁴⁾		3,88*10 ¹⁰		7,57*10 ¹⁶ ⁽⁶⁾		0,00005%

1. considerado acima de 1 µg/L; A.S. - água subterrânea.

(2,3) RICE *et al.* (1995); (4) Áreas contaminadas por SAS (USEPA, 2005); (5) CDWR (1975) *apud* NEWELL E CONNOR); (6) LEHR (1985 *apud* NEWELL E CONNOR).

Fonte: atualizado de Newell e Connor (1998, p. 6).

4.10 - O EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁLCOOL NA GASOLINA NO BRASIL

Na gasolina brasileira, é adicionado álcool etílico anidro combustível (AEAC) para efeito da redução do consumo de gasolina no mercado nacional e para diminuição da poluição atmosférica. Atualmente este percentual, definido por legislação representa 20 % do volume da gasolina (Resolução do Conselho Interministerial do Açúcar e Alcool - CIMA nº. 35, 2006) (BRASIL, 2006).

Corseuil, Santos e Fernandes (1996) apontaram os possíveis efeitos negativos da adição de álcool à gasolina nacional nos casos envolvendo contaminação das águas subterrâneas onde os compostos BTEX podem apresentar comportamento diferente no deslocamento da pluma em relação aos outros países onde a gasolina tem formulação diferente (os mesmos autores ressaltam também que estes efeitos negativos são menores que os efeitos benéficos da diminuição da poluição atmosférica):

- a possibilidade do aumento da solubilidade dos BTEX em água;
- a possibilidade do aumento da mobilidade dos BTEX dissolvidos na água subterrânea;
- a possibilidade de que a presença do etanol possa diminuir a biodegradação natural dos BTEX aumentando a persistência destes compostos na água subterrânea.

Fernandes e Corseuil (1996) através de experimentos concluíram que apenas 1% de volume de etanol já é suficiente para aumentar a solubilidade dos BTEX na água. Este efeito é causado pelos hidrocarbonetos monoaromáticos BTEX serem miscíveis em álcool e estes são altamente solúveis em água. Quando esta gasolina entra em contato com a água, o álcool

existente no combustível passa para a fase aquosa e aumenta a solubilidade do BTEX nesta fase (este tipo de processo é denominado efeito de cossolvência que é definido como a capacidade de um determinado solvente aumentar a solubilidade de um soluto em outro solvente), aumentando assim ainda mais a concentração dos BTEX no aquífero.

O efeito negativo da presença do etanol na biodegradação do benzeno foi observado por Corseuil, Montenegro e Marins (1996) em um experimento onde se comprovou a utilização preferencial do etanol pelos microrganismos do solo.

Neste caso a pluma de BTEX se deslocará sem a degradação até a completa biodegradação do etanol. Somente então desde que haja oxigênio disponível, os compostos BTEX serão biotransformados. Além disso, o etanol pode ser tóxico ou inibitório para os microrganismos degradadores de BTEX. Neste caso resulta em plumas de BTEX maiores em relação à gasolina sem adição de álcool.

Efeito semelhante foi observado por Corseuil e Kulkamp (2003) analisando a atenuação natural envolvendo um vazamento controlado simultâneo de diesel e álcool onde a presença de etanol na água subterrânea consome os aceptores de elétrons e nutrientes que poderiam estar disponível para a bioatenuação dos hidrocarbonetos mono e poliaromáticos do diesel.

Em função desta especificidade da gasolina brasileira Corseuil e Marins (1998) preconizam que as tecnologias de remediação adotadas na Europa e EUA que são empregadas no Brasil devem levar em consideração esta característica da formulação da gasolina nacional já que a contaminação de aquíferos por misturas de álcool e gasolina será mais complexa do que a produzida somente pela gasolina pura.

Conseqüentemente é esperado que o comprimento das plumas de fase dissolvida no Brasil seja diferente dos países de clima temperado em função das condições climáticas (interferem nos processos biodegradação) e da peculiaridade nacional da adição de álcool à gasolina resultando nas conseqüências citadas.

4.12 - HIDROGEOLOGIA DO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA - RJ

Segundo Monsores *et al.* (2003) no município de Seropédica-RJ, podem ser diferenciados dois “sistemas aquíferos” principais:

Sistema Aquífero Fraturado: aquíferos associados à ocorrência de porosidade secundária em rochas cristalinas, onde o reservatório é restrito ao desenvolvimento de fraturamento nesses litotipos.

Sistema Aquífero Piranema: aquíferos intergranulares compostos por sedimentos arenosos, areno-siltosos ou areno-argilosos (terciários ou quaternários) depositados nas áreas de baixada.

4.12.1 - Sistema Aquífero Fraturado

Compreende a região serrana (noroeste e norte do município) onde afloram granitos e rochas ortoderivadas fraturadas e falhadas (descritas por Miranda (2003) como Unidade hornblenda-biotita gnaiss e Unidade microclina gnaiss com porções migmatizadas nos contatos) (Figura 14 área 1).

São rochas Pré-Cambrianas pertencentes ao Complexo Rio Negro. Encontram-se dispostas em uma faixa de largura irregular que segue estruturação NE-SW. Segundo SEMADS (1996), representam as rochas que constituem o embasamento da bacia de Sepetiba onde está inserido o município.

Além das rochas cristalinas fraturadas, Monsores *et al.* (2003) consideram também, o manto de alteração associado como integrante do mesmo sistema aquífero. São encontrados nas encostas da região serrana e na porção central do município, onde afloram solos residuais em colinas isoladas, produto de alteração das feições Pré-cambrianas, descritas por Miranda (2003) como Unidade microclina gnaiss (Figura 14 área 2).

Nummer *et al.* (2005) agruparam as estruturas de deformação dútil que são encontradas no domínio do Sistema Aquífero Fraturado em três principais sistemas de falhas e fraturas:

1 - Sistema NE-SW com mergulho moderado a elevado para SE e moderado para NW. Corresponde ao *trend* estrutural predominante no município, sendo o mais antigo. Exibem localmente características compressionais com estrias oblíquas, sugerindo topo para NW.

Neste sistema, apesar do regime tectônico compressional, as falhas e fraturas são preenchidas por rochas porosas (brechas cataclásticas ou rochas milonitizadas) permitindo a circulação de água.

2- Sistema NW-SE mergulho elevado para SW. São resultantes de regimes tectônicos predominantemente compressionais, o que teoricamente dificultaria a percolação de água nesta estruturas. Apesar disto, quando foram superpostos os dados de poços aos alinhamentos tectônicos, definiu-se um alinhamento preferencial com vazão moderada nesta orientação;

3- Sistema W-E: mergulho moderado a elevado para sul. É o mais recente e possui falhas que eventualmente deslocam falhas ou fraturas provenientes de sistemas anteriores, exibindo características extensionais com o topo descendo em relação à base;

A Figura 15 sintetiza as características dos sistemas aquíferos do município. Na região serrana (norte e noroeste) afloram rochas ortoderivadas e as camadas de solo tendem a ser pouco espessas e o Sistema Aquífero Fraturado apresenta baixa potencialidade.

Nos sopés das serras (onde as declividades são menores), predominam depósitos colúvio-aluvionares e depósitos de talus. Nestas áreas a potencialidade é maior (Figura 15 - área A).

Na região central (arredores da área urbana de Seropédica), afloram solos residuais alinhados no sentido leste/oeste, em relevo tipo meia laranja (colinas residuais), com espessuras mais proeminentes, podendo atingir mais de uma dezena de metros (Unidade microclina gnaíse). Nestas áreas, nos vales entre morrotes, a potencialidade do sistema tende a ser maior.

O produto de alteração dessas rochas (argissolos ou alissolos) gera características de aquífero intergranular e atua como armazenador para a recarga dos aquíferos cristalinos fraturados que estão abaixo (Figura 15 - área B).

Na região centro-sul do município (região de baixada), o Sistema Aquífero Fraturado está sobreposto por sedimentos terciários/quaternários que constituem o Sistema Aquífero Piranema (Figura 15 - área C e D).

Fonseca *et al.* (2002) descrevem o embasamento geológico da área do *campus* UFRuralRJ com resistividades que variam entre 10.000 ohm.m a 75 ohm.m, demonstrando diferentes condições e implicações na identificação de geohidroestruturas favoráveis à ocorrência de água subterrânea.

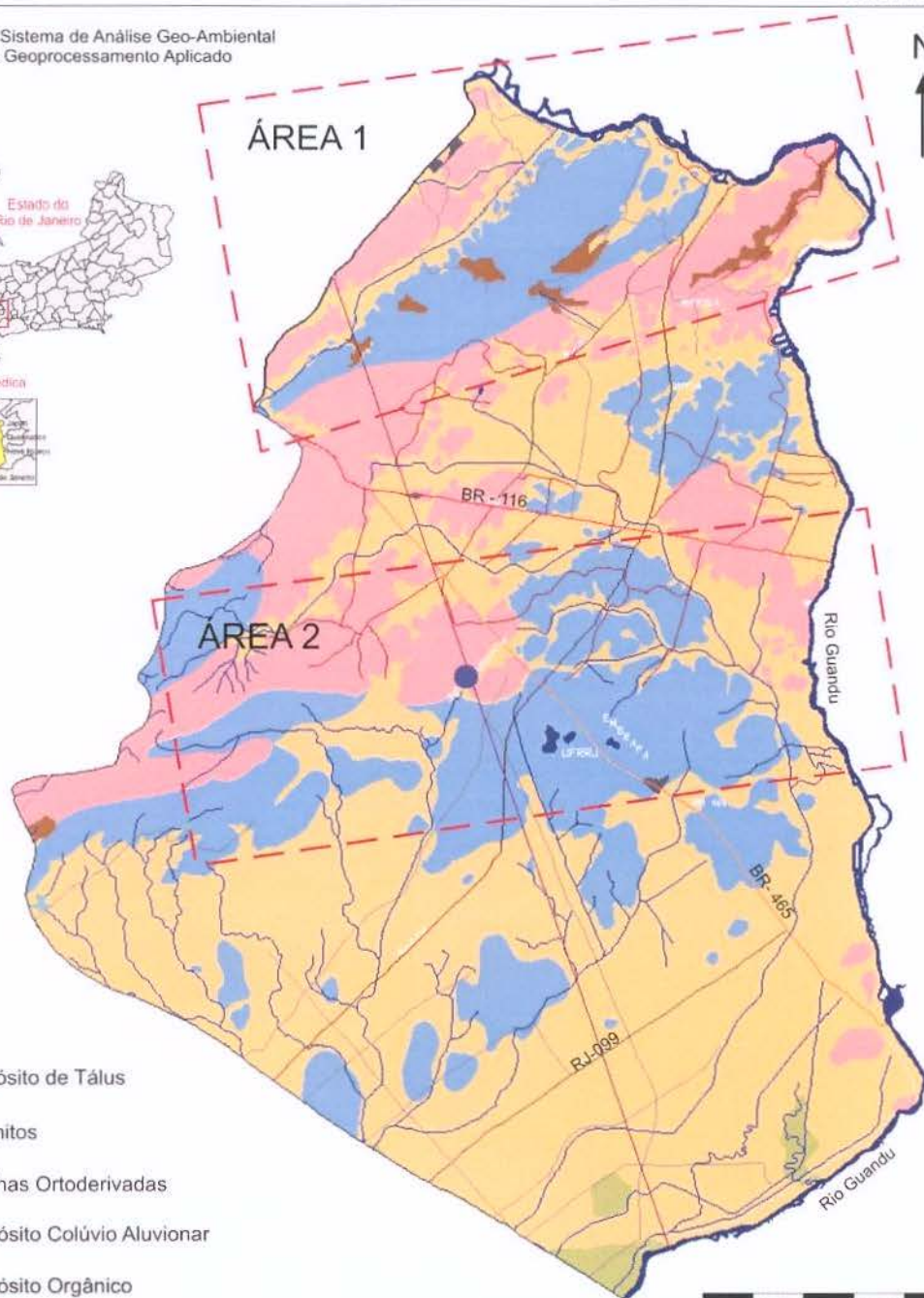
Definiu que regiões resistivimétricas acima de 1.800 ohm.m correspondem a rocha sã (inalterada) e não cedem água subterrânea; valores entre 1.800 e 1.200 ohm.m correspondem a rocha fraturada e cedem alguma água e regiões entre 300 a 1.200 ohm.m correspondem a zonas de fraturas onde as vazões mais expressivas são esperadas.

LITOLOGIA - SEROPÉDICA - RJ

7497000 : 620000

7497000 : 642000

SAGA/UFRJ - Sistema de Análise Geo-Ambiental
Laboratório de Geoprocessamento Aplicado



- Depósito de Tálus
- Granitos
- Rochas Ortoderivadas
- Depósito Colúvio Aluvionar
- Depósito Orgânico

7470000 : 620000
Resolução : 25 metros

7470000 : 642000

Figura 14: Mapa litológico do município de Seropédica - RJ.
Fonte: modificado de LGA/UFRuralRJ (1999).

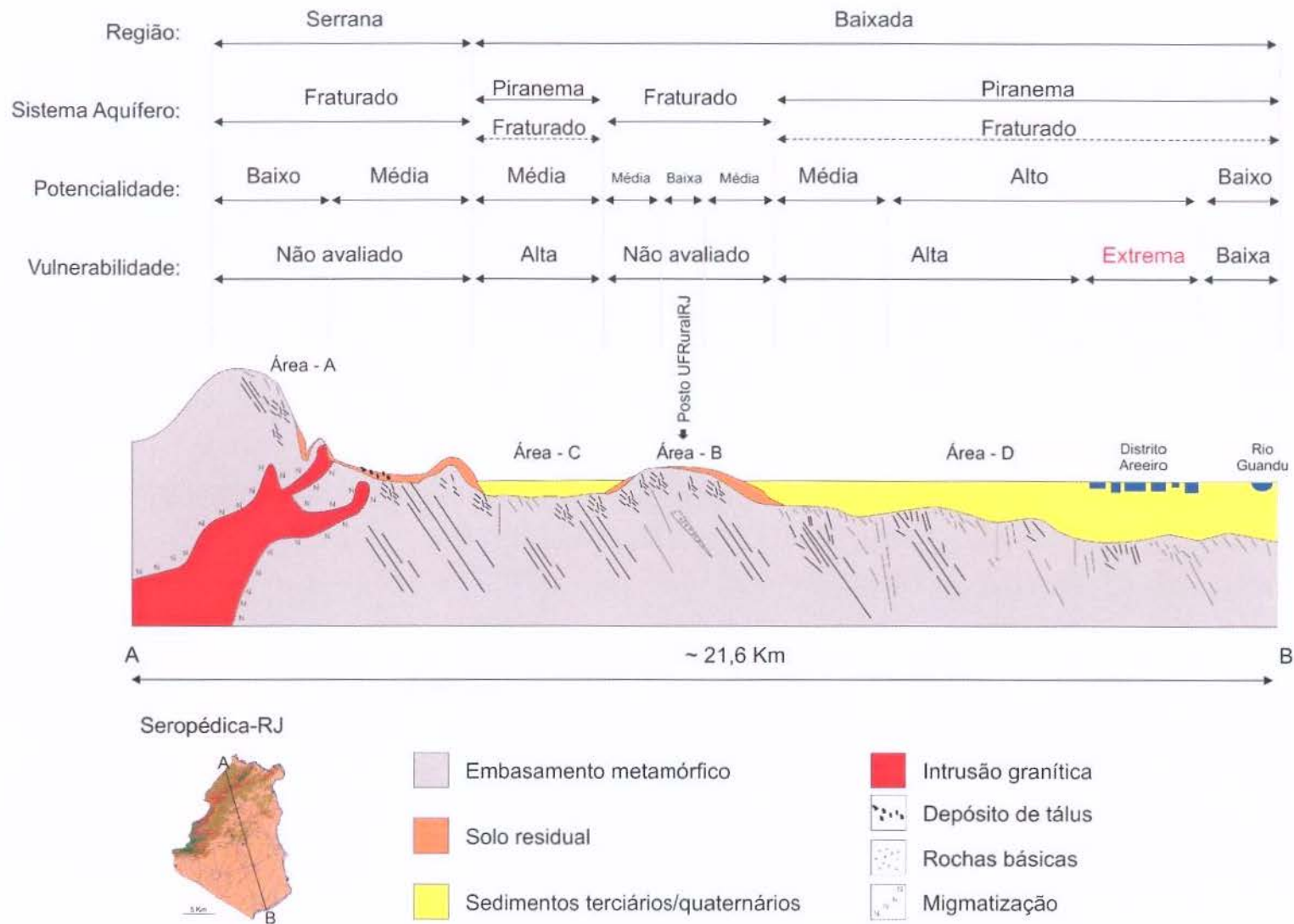


Figura 15: Perfil esquemático NW-SE dos sistemas aquíferos do município de Seropédica-RJ.
Fonte: concebido a partir de dados de Monsorens *et al.* (2003).

4.12.2 - Sistema Aquífero Piranema

Monsores *et al.* (2003) definiram o Sistema Aquífero Piranema como todos os aquíferos de permeabilidade intergranular associados aos sedimentos arenosos e areno-argilosos da região que tenham continuidade com os sedimentos que ocorrem na área do bairro Piranema (sul do município).

A definição de Sistema Aquífero Piranema aqui adotado, considera como todos os aquíferos de permeabilidade intergranular, localizado nas planícies do município compreendendo as categorias geomorfológicas Planície Aluvionar de Cobertura (composta por Depósito Aluv. Colúvio e Aluvionar Subatual) e Planície Colúvio-Aluvionar (Figura 16) composta por Depósitos Colúvio Aluvionares.

Goes (1994) não considera a ocorrência de sedimentos terciários no município e descreve estas planícies quase semelhantes diferenciando-se pela presença de material coluvionar. Esta característica sugere que nem todos os sedimentos da região de baixada têm continuidade com os sedimentos do bairro Piranema.

Analizando perfis estratigráficos no distrito areeiro de Seropédica-Itaguaí (sul do município) Berbert (2003) observou jazidas formadas pela intercalação de unidades lenticulares de argila e areia em ambiente deposicional francamente fluvial de rios entrelaçados e meandantes. Concluiu que as camadas de areia não demonstram grandes continuidades laterais sugerindo um caráter episódico da deposição.

A distribuição espacial do Sistema Aquífero Piranema é a mesma adotada por Monsores *et al.* (2003), que consideram as seguintes características para as áreas de ocorrência:

Área norte de Seropédica, na cabeceira do Valão dos Bois, e nas demais porções onde os aquíferos têm pouca extensão lateral (Figura 15 área C).

Nesta porção, a espessura sedimentar tende a ser menor que 10 metros, com potencialidade de exploração mais baixa comparada as demais áreas do sistema. Os sedimentos são pouco mais argilosos, com teores maiores de matéria orgânica caracterizado pela ocorrência de solos glei.

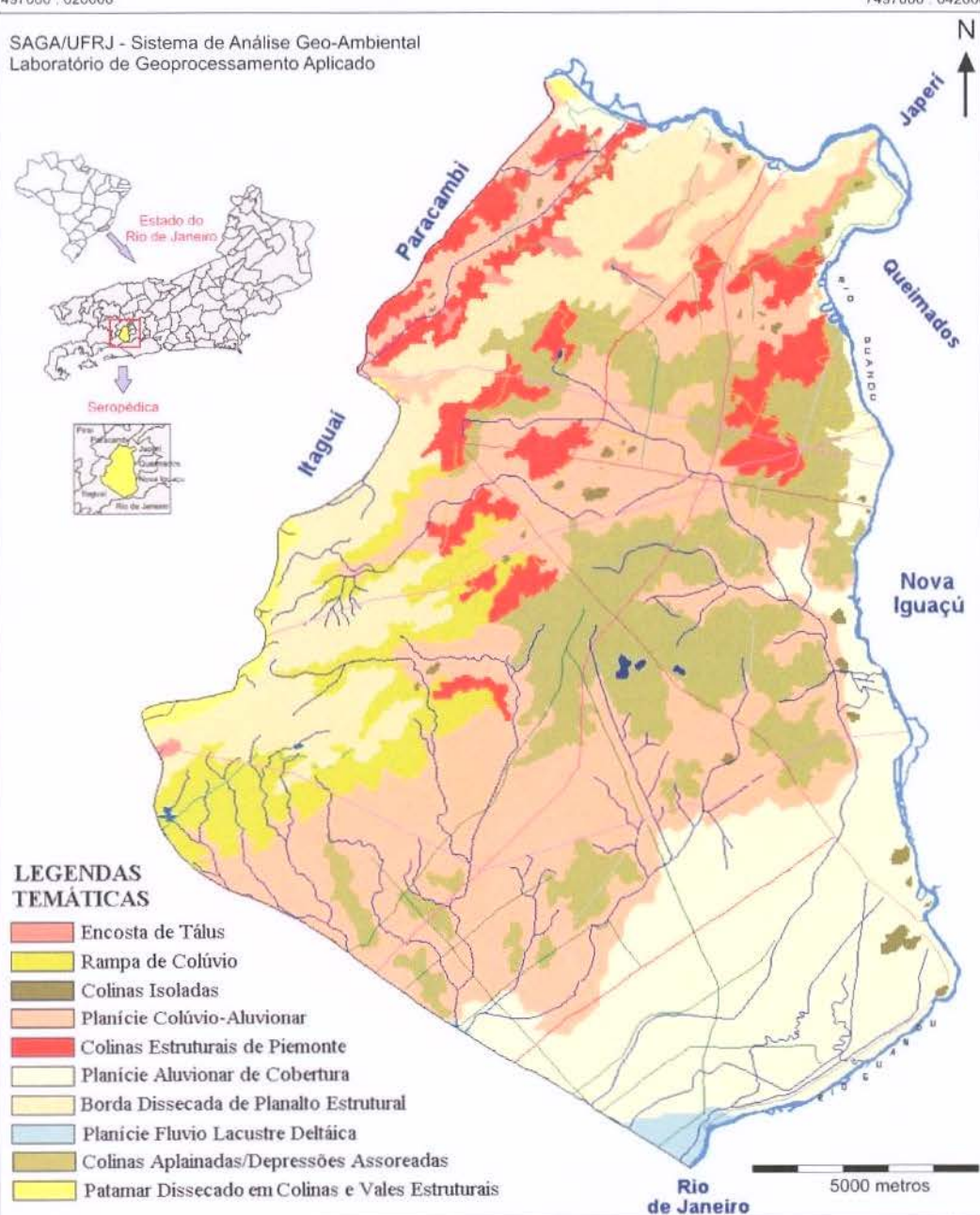
Goes (1994) caracteriza esta região localizada exclusivamente na Planície Colúvio Aluvionar formada a partir dos sopés das encostas, produtos de leques aluviais e mais recentemente de colúvio. É composta pela unidade litológica Depósito Colúvio Aluvionar.

GEOMORFOLOGIA - SEROPÉDICA - RJ

7497000 : 620000

7497000 : 642000

SAGA/UFRJ - Sistema de Análise Geo-Ambiental
Laboratório de Geoprocessamento Aplicado



7470000 : 620000

Resolução : 25 metros

7470000 : 642000

Figura 16: Mapa geomorfológico do município de Seropédica-RJ.
Fonte: alterado de GOES (1994)

Área sul de Seropédica. Compreende uma extensa planície onde a extensão lateral dos aquíferos é grande. Os sedimentos podem variar de poucos metros até pelo menos 20 metros (Figura 15 área D). O potencial de exploração destes aquíferos é variável, de acordo com a permeabilidade dos sedimentos (teores de argila).

Segundo Goes (1994) três categorias geomorfológicas compõem esta planície: Planície Colúvio Aluvionar e Planície Aluvionar de Cobertura as quais são as áreas de maiores potencialidade do Sistema Aquífero Piranema e de exploração de areia; e Planície Flúvio Lacustre Deltáica (extremo sul do município) composta por sedimentos argilosos e orgânicos com baixa potencialidade hídrica e de exploração de areia.

Na mesma planície, no limite entre os municípios de Seropédica e Itaguaí, encontra-se o distrito areeiro que é responsável por cerca de 80% da areia para a construção civil da região metropolitana do Rio de Janeiro. Ocupa uma faixa de 3,5 km largura e 7 km extensão e uma reserva lavrável estimada de cerca de 196.875.000 m³ de areia e considera-se que a metade desse recurso já foi explorada (PUGET e NUNES, 2000).

Goes & Xavier-da-Silva (2002) descrevem que exploração desordenada e concentrada de areia nesta área aceleram uma instabilidade ambiental local evidenciado por as crateras cada vez mais adensadas e coalescentes, degradando a paisagem.

O fato de esta atividade ser realizada por meio de cavas e na área de maior potencialidade do Sistema Aquífero Piranema, acarreta a exposição da superfície freática gerando um significativo meio de aporte de contaminantes para subsuperfície.

A extensão mapeada do Sistema Aquífero Piranema é aproximadamente 180 km² com reserva permanente estimada em 414 x 10⁶ m³ e reserva total 465,34 x 10⁶ m³ (considerando variação média anual do nível d'água 1,24 m, espessura saturada 10 m e porosidade efetiva 23%). São aquíferos livres com a recarga distribuída sobre a sua área de ocorrência (MONSORES *et al.*, 2003).

Estes sedimentos estão sobrepostos ao embasamento cristalino metamórfico fraturado nas áreas de baixada e sugerem uma conexão hidráulica entre porções do Sistema Aquífero Piranema com o Sistema Aquífero Fraturado.

Goes (1994) definiu as características e a gênese dos sedimentos do bairro Piranema, responsáveis pela cobertura sedimentar da porção sul do município e esta foi denominada informalmente de Formação Piranema.

O aquífero associado a esta formação, denominado de Aquífero Piranema (o mais expressivo no município), foi utilizado para denominar o Sistema Aquífero Piranema que é composto exclusivamente por aquíferos intergranulares.

É uma formação constituída por sedimentos arenosos e siltico-arenosos depositados (em fases úmidas e secas) pela drenagem da Bacia do Rio Guandu.

Os últimos eventos climático-eustáticos do Quaternário possivelmente provocaram um complexo padrão de ajustamento na pretérita drenagem do rio Guandu, principalmente a jusante de seu médio-baixo curso. As condições climáticas pleistocênicas mais secas contemporâneas da Glaciação Wurm (75 a 17 mil anos), induziram processos morfogenéticos agradacionais de relativa alta energia. O intenso aporte de sedimentos arenosos imaturos que desciam das encostas da Serra do Mar foram trazidos e depositados pela então drenagem anastomosada; posteriormente, numa fase mais úmida, estes sedimentos foram retrabalhados num padrão de drenagem submeandrante a meandrante.

Depósitos arenosos grosseiros a médios (paleocanais arenosos), intercalados esporadicamente por lentes de argila orgânica, são vistos em horizontes basais. Com a transição para uma fase mais subúmida, uma dinâmica fluvial de menor intensidade energética passou a atuar, depositando sedimentos arenosos mais finos. Através de processos agradacionais de acréscimos horizontais, foram desenvolvidas paleofeições arenosas como as barras e terraços fluviais, (atual depósito arenoso em extração), intercaladas por significantes depósitos de argila orgânica e/ou turfas, associadas às paleoplanícies de inundação.

A mesma autora individualizou duas fácies:

Fácies Arenosa Pleistocênica (inferior): corresponde aos estratos onde é explotada areia. Seu início é entre 2 a 5 metros e a espessura pode atingir cerca de 35m. É caracterizada por estratos muito arenosos de bancos de ambiente fluvial anastomosante, destacando-se fragmentos de quartzo associados a fundos de canais e/ou proximidade do embasamento; é marcante a abundância de feldspato. Estratos inclinados e/ou maciços, constituintes de barras e terraços aluviais intercalados por significantes camadas de argila orgânica e/ou depósitos turfosos (ambiente submeandrante a meandrante). São as camadas mais superiores da referida formação, caracterizadas por uma granulometria menos grosseira (areia média a fina), com uma expressiva concentração de nódulos e areias oxidadas.

Fácies Siltico-Argilosa Holocênica (superior): É constituinte da “cobertura” da Planície Aluvionar e correspondente ao “Depósito Colúvio-Aluvionar”, estando vinculada à hidrodinâmica fluvial da fase mais úmida. Domina a constituição de sedimentos finos superiores a 4 phi; a variação textural resultou em duas modas, a fração silte-argilosa, e secundariamente, a fração areia muito fina.

A água subterrânea no bairro Piranema foi classificada por Barbosa (2005) como cloretada-sódica com origem provável na água da chuva e em aerossóis marinhos. O fato da rápida circulação da água na zona não-saturada não transcorre tempo suficiente para promover a interação com os sedimentos arenosos da região (quartzo e feldspato de difícil dissolução).

Monsorens *et al.* (2003) concluíram que os aquíferos intergranulares do município (Sistema Aquífero Piranema ou em solo residual) são os mais utilizados pela população local (em cacimbas e poços rasos) e o aproveitamento dos aquíferos fraturados é feito apenas em poços construídos pelo estado ou por instituições assistenciais, pois demandam maiores investimentos na construção.

4.13 - VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO

O termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a suscetibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER e HIRATA, 1993, p. 67).

A vulnerabilidade do aquífero é em função da:

- a) Inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- b) Capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante (FOSTER e HIRATA, 1993).

No município de Seropédica - RJ, Monsorens *et al.* (2003) avaliaram a vulnerabilidade à contaminação do Sistema Aquífero Piranema com o método GOD proposto por Foster (1987 *apud* FOSTER E HIRATA, 1993).

Neste sistema, predomina o índice de vulnerabilidade alta (porção central e sul) seguido pelo índice de vulnerabilidade baixa localizado no extremo sul (margens do rio Guandu), porção centro-oeste (bairro Santo Antônio) e porção norte (bairro Santa Alice).

Foster e Hirata (1993) advertem que áreas menos vulneráveis não são facilmente contaminadas, entretanto uma vez contaminadas tendem a ser as mais difíceis de serem remediadas.

O índice de vulnerabilidade extrema é encontrado na área do distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica onde muitas vezes a superfície freática é exposta em decorrência da exploração de areia em cavas além de dezenas de cavas abandonadas; e no bairro Santa Sofia (noroeste do município) onde a superfície freática é menos profunda comparada às outras porções do sistema.

Hirata (1994) descreve que os índices de vulnerabilidade alto/extremo indicam sensibilidade de um aquífero para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus enquanto o índice baixo significa que o aquífero é vulnerável apenas a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-clorados.

4.14 - ESTABELECIMENTO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O conceito de risco de contaminação das águas subterrâneas é definido por Foster (1987 *apud* FOSTER E HIRATA, 1993) a partir da interação entre a carga contaminante potencial (carga que foi, é ou será aplicada no solo) e a vulnerabilidade natural do aquífero (Figura 17).

Carga contaminante potencial se refere à atividade antrópica que pode vir a gerar um evento importante e alterar, acima dos padrões de potabilidade definidos em lei, a qualidade das águas subterrâneas. É um conceito associado ao risco e não indica que a atividade esteja, nesse momento, causando dano a um aquífero (HIRATA, 1994).

Assim é possível a existência de áreas com alta vulnerabilidade do aquífero sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga contaminante significativa, e vice-versa.

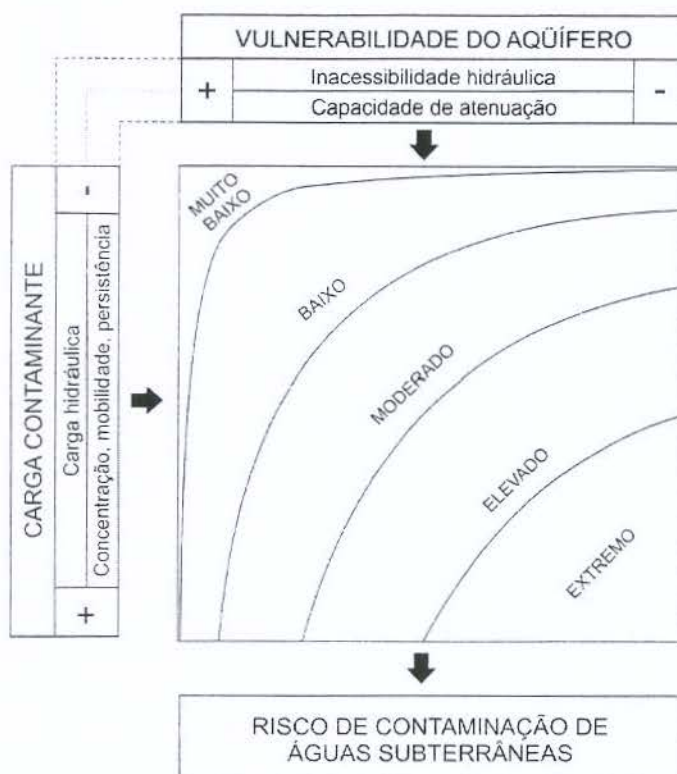


Figura 17: Esquema conceitual do risco de contaminação das águas subterrâneas.

Fonte: (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER e HIRATA, 1993, p. 18).

5.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para o diagnóstico ambiental da área do posto de abastecimento da UFRuralRJ, adotou-se o método proposto pela CETESB (1999) para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas devido este apresentar a vantagem de otimizar os recursos técnicos e financeiros.

O método é composto por dois processos subdivididos em etapas sequenciais em que a informação obtida em cada etapa é base para a execução da etapa seguinte (Figura 18):

Processo de Identificação de Áreas Contaminadas: tem o objetivo principal a localização das áreas contaminadas. Subdivide-se nas seguintes etapas:

Definição da Região de Interesse → Identificação de Áreas Potencialmente Contaminadas →
Avaliação Preliminar → Investigação Confirmatória.

Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas: tem o objetivo principal a adoção de medidas corretivas nas áreas classificadas como contaminadas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas a ser atingidas após a intervenção, adotando-se dessa forma o princípio da “aptidão para o uso”. Esse processo é constituído por seis etapas:

Investigação Detalhada → Avaliação de risco → Investigação para Remediação → Projeto de
Remediação → Remediação → Monitoramento.

Durante o processo Gerenciamento de Áreas Contaminadas de acordo com a informação obtida em cada etapa na área em estudo, esta pode ser registrada no Cadastro de Áreas Contaminadas como: Área Potencialmente Contaminada ou Área Suspeita de Contaminação ou Área Contaminada (quadro 05).

O método foi aplicado parcialmente na área do posto de abastecimento da UFRuralRJ e encerrou-se na primeira etapa do Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas (Investigação Detalhada) já que o objetivo previamente estabelecido é apenas a investigação ambiental desta área.

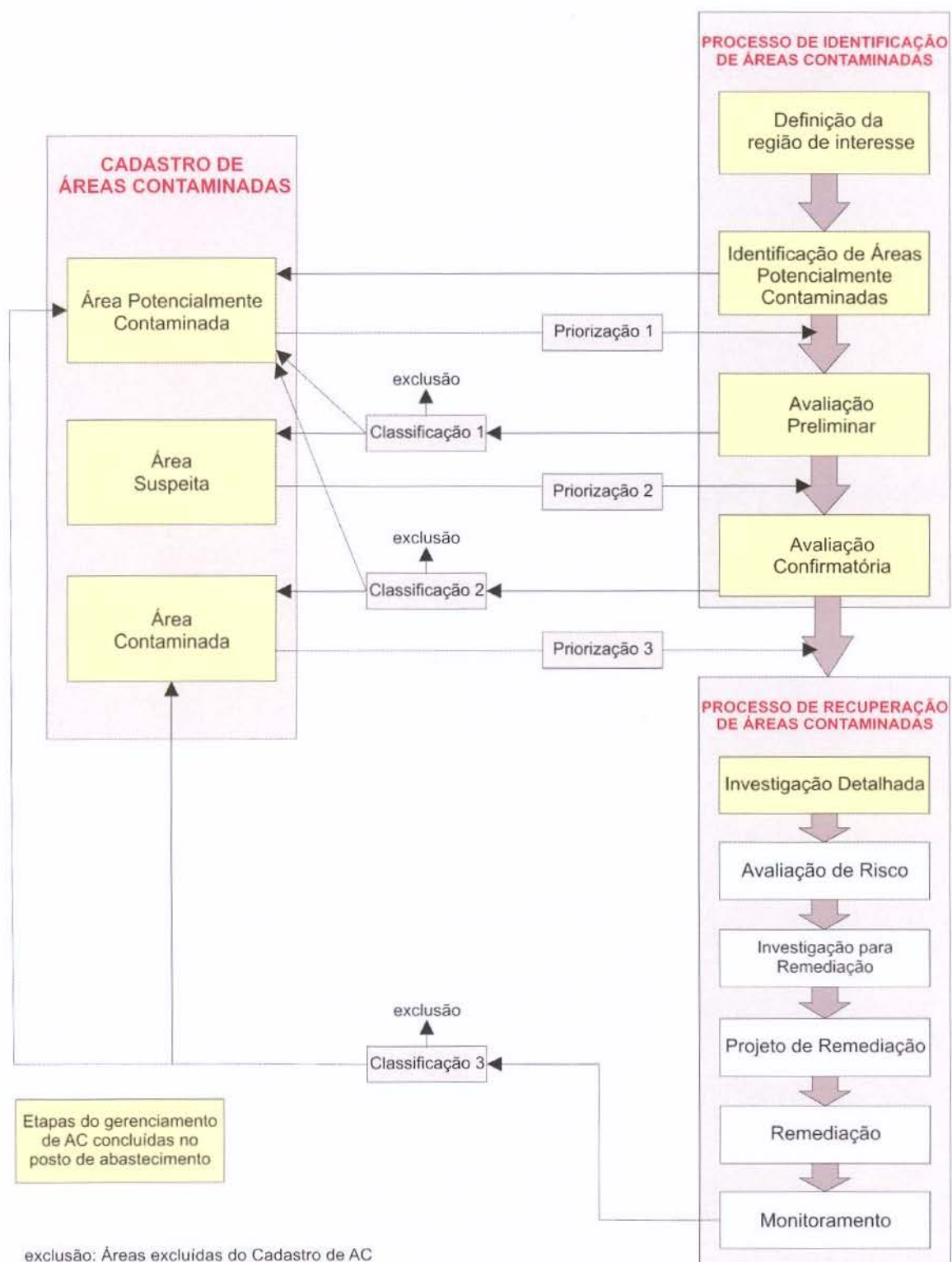


Figura 18: Fluxograma do método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas CETESB.
 Fonte: (CETESB, 1999, cap. 1-1100, p. 3).

Quadro 05: Classificação das áreas sob investigação segundo método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Área Potencialmente Contaminada: é aquela onde se desenvolve ou foi desenvolvida uma atividade potencialmente contaminadora, isto é, onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger.

Área Suspeita de Contaminação: é aquela a qual durante a realização da etapa de avaliação preliminar foram observadas falhas no projeto, problemas construtivos, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos e outros. Essas constatações induzem a suspeitar da presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas e/ou em outros compartimentos do meio ambiente.

Área Contaminada: em síntese é definida como a área ou terreno onde há comprovadamente contaminação, confirmada por análises, que pode determinar danos e/ou riscos aos bens a proteger localizados na própria área ou em seus arredores.

Fonte: (CETESB, 1999, cap. 1-1100, p. 2).

Optou-se por não adotar roteiros específicos para a investigação de passivos ambientais em postos de combustíveis editados pelas agências ambientais. Esta opção, implicaria a execução de todos os procedimentos propostos (principalmente o que se refere às quantidades exigidas de análises químicas em amostras de solo e água subterrânea) o que se tornaria inviável devido os recursos financeiros disponibilizados serem limitados.

Apesar do estudo de caso envolver somente a caracterização ambiental de um posto de abastecimento, os demais postos do município de Seropédica - RJ foram inventariados o que possibilitou avaliar o risco da contaminação das águas subterrâneas pelos postos de combustíveis no município com o método proposto por Foster e Hirata (1993) através da interação da provável carga contaminante gerada com o mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de editado por Monsorens *et al.* (2003).

A etapa de investigação de campo foi realizada essencialmente com equipamentos da UNICAMP sem o apoio de nenhuma empresa de consultoria ambiental. Com o propósito de solucionar algumas limitações técnicas foram utilizadas ferramentas próprias, desenvolvido um

medidor de nível eletrônico e outros equipamentos da universidade (adquiridos ou adaptados para este propósito).

Apesar de alguns equipamentos não representarem o estado da arte de investigação ambiental, todos que foram empregados estão em concordância com os equipamentos exigidos nos procedimentos de investigação das agências ambientais brasileiras.

5.1 - PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS:

5.1.1 - IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE CONTAMINADAS

Os postos de combustíveis de Seropédica (atividade potencialmente contaminadora em análise) foram inventariados utilizando-se o cadastro da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2005) e cotejos de campo onde se observou os produtos manipulados e obteve as coordenadas geográficas (UTM SAD-69) com um GPS de navegação. Também foi realizado um levantamento na FEEMA (órgão ambiental de controle do Rio de Janeiro) quanto à existência da licença ambiental de cada estabelecimento (licença de operação).

Todas as áreas destes estabelecimentos receberam a classificação de Potencialmente Contaminada no Cadastro de Áreas Contaminadas, portanto são passíveis de investigação; entretanto, as demais etapas do Processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas foram aplicadas somente no posto de abastecimento da UFRuralRJ como estudo de caso.

5.1.2 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Realizou-se uma avaliação preliminar na área do posto de abastecimento da UFRuralRJ através de entrevistas com funcionários e inspeção de campo.

Nas entrevistas foram obtidas informações sobre as características dos equipamentos, idades das instalações, práticas operacionais e movimentação mensal de combustíveis além da planta construtiva posteriormente atualizada e digitalizada.

Na inspeção de campo realizada no dia 10/05/05 observou-se os aspectos construtivos e operacionais do posto, identificada a posição dos tanques subterrâneos e conformidades técnicas segundo as exigências da resolução CONAMA 273 (2000).

Ao final desta etapa, a constatação das instalações/equipamentos estarem em desacordo com algumas normas técnicas e a existência de tanques desativados no local foram os indícios considerados para classificar a área como Suspeita de Contaminação e iniciar a etapa seguinte.

5.1.3 - INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Etapa realizada com o objetivo de confirmar a existência ou não de contaminação na área classificada como Suspeita possibilitando defini-la como Área Contaminada ou excluí-la do cadastro. Com este propósito, foram adotadas as seguintes técnicas de investigação (em ordem de execução):

Avaliação preliminar de gases no solo

Inicialmente realizou-se uma varredura quantitativa da concentração de vapores inflamáveis provenientes de combustíveis na zona não-saturada do solo, com objetivo de diagnosticar hidrocarbonetos em fase vapor, permitindo apoiar a locação das sondagens de reconhecimento nos locais definidos com anomalias de vapores ("*hotspots*").

Foram executadas 18 sondagens de 2,5 cm de diâmetro até a profundidade de 1 m nos locais suspeitos de contaminação (próximo aos tanques e bombas) com um trado manual helicoidal.

Imediatamente após cada perfuração, foi analisada a concentração de gases inflamáveis no interior da sondagem com um equipamento monitor de gás portátil *TermoGas TECH* modelo Innova-SV (calibrado e cedido pelo Laboratório de Química Ambiental do IQ-UNICAMP) com faixa de operação de 0-1.000 ppm (parte por milhão) e 10 ppm de incremento com princípio de funcionamento de oxidação catalítica de quantificação de compostos orgânicos voláteis (VOC) previamente calibrado com o ar do campo ("*background*"). Ao final da realização deste procedimento as sondagens foram preenchidas com solo nativo e uma calda de bentonita.

Sondagens de reconhecimento

Para as sondagens de reconhecimento (SR) empregou-se um trado manual (tipo concha) de 15,2 cm de diâmetro até atingir a zona saturada para a descrição física do solo e para a

determinação da concentração de gases ao longo do perfil vertical. Antes de iniciar cada sondagem o trado foi descontaminado com um jato de água e detergente.

Foram executadas 4 sondagens (Figura 19) localizadas considerando posição jusante em relação ao fluxo subterrâneo (inferido inicialmente com base na topografia) respectivamente a 2m do tanque de gasolina (SR1), a 1 m do tanque de óleo diesel (SR3), na área de lavagem/troca de óleo (SR2). A justificativa dos pontos localizados baseou-se o mais próximo possível das fontes de contaminação devido nenhuma anomalia ter sido diagnosticada durante a operação de avaliação preliminar de gases no solo. Finalmente foi executada a SR4 intermediária a SR1 e SR3.

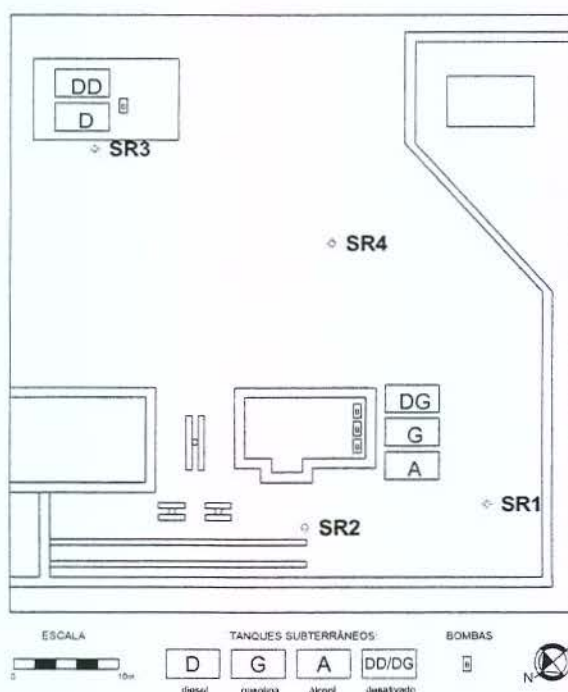


Figura 19: Distribuição espacial das sondagens de reconhecimento.

Perfil vertical da concentração de gases no solo

Concomitantemente à execução das sondagens de reconhecimento, analisou-se a concentração de vapores inflamáveis ao longo do perfil vertical do solo, conforme procedimento sugerido pela CETESB (2003).

O solo foi amostrado a cada 50 cm (procedimento sugere a cada metro) e dividido em duas alíquotas. Ambas foram identificadas e dispostas em sacos de polietileno individuais auto-selante e uma delas mantida em uma caixa térmica com gelo. Na outra alíquota, a amostra dentro

do saco plástico lacrado foi destorroadada e vigorosamente agitada. Aguardou-se 10 minutos para a leitura da concentração de vapores através de um pequeno orifício no saco com o mesmo equipamento monitor portátil de VOC descrito.

Amostragem e análise de contaminantes orgânicos no solo

Apenas na SR3 foram registradas anomalias na concentração de vapores no solo. A amostra de solo que estava mantida sob refrigeração correspondente à que registrou a maior concentração de vapores da SR3 (5,5 m) foi transferida para um frasco transparente de vidro de 40 mL, com boca larga e tampa com vedação de teflon preenchendo todo volume do frasco.

O frasco foi identificado, mantido sob refrigeração até a chegada ao laboratório TASQA (Paulínia-SP) para a análise da concentração de BTEX's e PAH's.

Nas sondagens SR2 e SR4, como não se observaram anomalias na concentração de vapores no solo, foi amostrado solo respectivamente a 4 e 5 m de profundidade, com a mesma técnica de coleta e preservação descrita, para a análise de BTEX's. Na SR1 o solo não foi amostrado para análise de compostos orgânicos.

O laboratório empregou os seguintes métodos de extração e análise quantitativa para os compostos orgânicos:

Compostos BTEX's: método de extração USEPA 5021 (*Headspace*); método de análise USEPA 8015D - HRGC-FID (*High Resolution Gas Chromatography - Flame Ionization Detector*) com limite de quantificação de 1µg/kg para cada composto.

Compostos PAH: método de extração USEPA 3550 (Extração por ultrassom); método de análise USEPA 8270C - GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*) com limite de quantificação de 10 µg/kg para os seguintes compostos: 2-Metilnaftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo[a]antraceno, Benzo[a]pireno, Benzo[b]+[k]fluoranteno, Benzo[g,h,i]perileno, Criseno, Dibenzo[a,h]antraceno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno[1,2,3-cd]pireno, Naftaleno, Fenantreno, Pireno.

Ao final desta etapa de Investigação Confirmatória, a constatação de fase livre na sondagem a jusante da área de abastecimento de diesel (SR3) foi o argumento utilizado para classificar a área como Contaminada e iniciar uma Investigação Detalhada.

5.2 - PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

5.2.1 - INVESTIGAÇÃO DETALHADA

Após a confirmação da contaminação na Área Suspeita realizou-se uma Investigação Detalhada com o objetivo de caracterizar as variáveis geológicas/hidrogeológicas associadas ao mecanismo de transporte dos contaminantes em subsuperfície e de quantificar a área contaminada. Foram adotados os seguintes procedimentos e técnicas de investigação:

Instalação de poços de monitoramento

Para a obtenção das variáveis hidrodinâmicas e hidroquímicas do local foram utilizados 6 poços de monitoramento (PM). Três foram instalados nos locais definidos para as sondagens de reconhecimento SR1 (PM1), SR2 (PM3) e SR3 (PM5) e os demais instalados a montante da área de tancagem de gasolina (PM2) e diesel (PM6) e o último entre estes (PM4) (Figura 20).

Os poços de monitoramento foram perfurados com trado manual de 15,2 cm de diâmetro (sem a utilização de nenhum fluido) até a zona saturada (profundidade média de 6 m) e revestidos com tubo geomecânico liso de 5,08 cm de diâmetro nos 3 primeiros metros e o restante com tubo geomecânico ranhurado (filtro) penetrando 2 m na zona saturada.

Os poços foram concebidos de forma que o nível d'água permaneça dentro do segmento da seção filtrante mesmo com as variações sazonais permitindo a entrada do contaminante sobrenadante sempre pelo filtro, conforme especificações da norma ABNT NBR 13895 (1997).

Foram utilizados tubos próprios para a construção de poço de monitoramento (tubo geomecânico), unidos por luvas, sem a utilização de cola, e introduzidos de forma centralizada no furo cujo conjunto de tubos foi assentado sobre uma camada de 20 cm de pré-filtro colocado no fundo do furo (Figura 21).

A seguir adicionou-se vagarosamente o pré-filtro (areia com granulometria 1,5 a 3 mm para melhorar a comunicação hidráulica do poço) até que seu volume ultrapassasse 50 cm do filtro. Sobre camada de pré-filtro adicionou-se se uma camada de 80 cm de bentonita em *pellets* para impedir a comunicação hidráulica com as camadas superiores e sobre esta solo nativo.

Para evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular empregou-se uma camada de 75 cm de cimento sobre a camada de solo nativo e uma tampa de plástico com pressão (*gripper*) e cadeado sobre o tubo geomecânico.

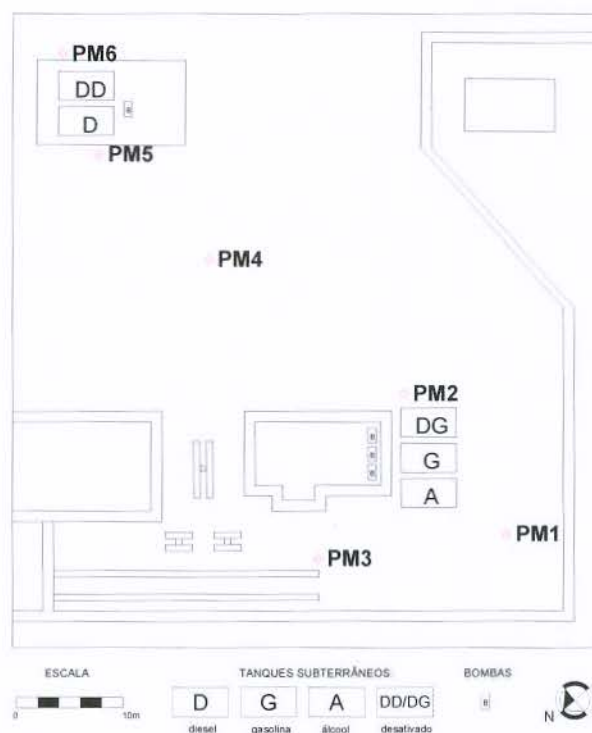


Figura 20: Distribuição espacial dos poços de monitoramento.



- | | |
|--------------------------|---|
| 1- Tampa superior: | <i>Gripper</i> Ø 5,08 cm de plástico com cadeado |
| 2- Revestimento Interno: | Tubo geomecânico Ø 5,08 cm Fortlit |
| 3- Proteção sanitária: | Argamassa de cimento (15 L) |
| 4- Preenchimento: | Solo nativo |
| 5- Selo: | Bentonita em <i>pellets</i> : Compactolit (10 kg) |
| 6- Pré-filtro: | Areia 1,5 a 3 mm (125 kg) |
| 7- Filtro: | Tubo geomecânico Ø 5,08 cm; ranhura (0.75 mm) |
| 8- Tampa inferior: | Cap geomecânico Ø 5,08 cm |

Obs: não foi utilizada manta recobrindo o filtro.

Figura 21: Perfil construtivo esquemático e respectivos materiais empregados na construção dos PM's.

Desenvolvimento dos poços de monitoramento

Após o término da construção, os poços foram desenvolvidos (exceto o PM5 que apresentou fase livre) removendo a água diversas vezes até que a mesma diminuísse sua turbidez com a utilização de uma bomba elétrica de 12 volts (*Shurflo Marine Portable Water Pump* 10,6 l/min). Este procedimento foi realizado para melhorar a comunicação hidráulica do poço com a formação e para remover sedimentos finos do interior do poço resultantes da perfuração.

Determinação do nível d'água (N.A.)

Para esta operação foi montado um medidor de nível eletrônico com pequenas alterações no diagrama eletrônico proposto por Hood, Smajstria e Zazueta (1991) (Figura 22). Estas alterações visaram melhorar a praticidade do equipamento e permitir a utilização de componentes disponíveis.

O equipamento (Figura 23A) representou um custo aproximadamente 30 vezes inferior aos modelos comerciais, é constituído por um sensor anexado a um cabo paralelo de 10 m (fio de antena) graduado a cada 50 cm e um gabinete onde foi montado o circuito eletrônico (Figura 23B).

O sensor é descido no poço e este ao tocar a superfície da água aciona um sinal sonoro e luminoso (*led*). Neste momento é medido o comprimento de cabo utilizado na operação e este corresponde à profundidade do nível d'água no poço. Entre as leituras de nível, descontaminou-se o sensor com detergente e água corrente.

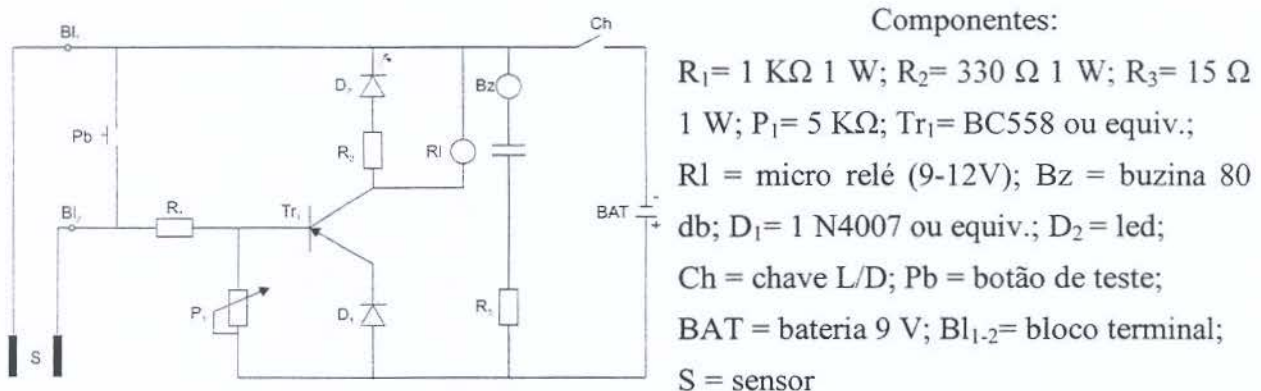


Figura 22: Diagrama elétrico do medidor de nível eletrônico de água.

Fonte: modificado de Hood, Smajstria e Zazueta (1991).

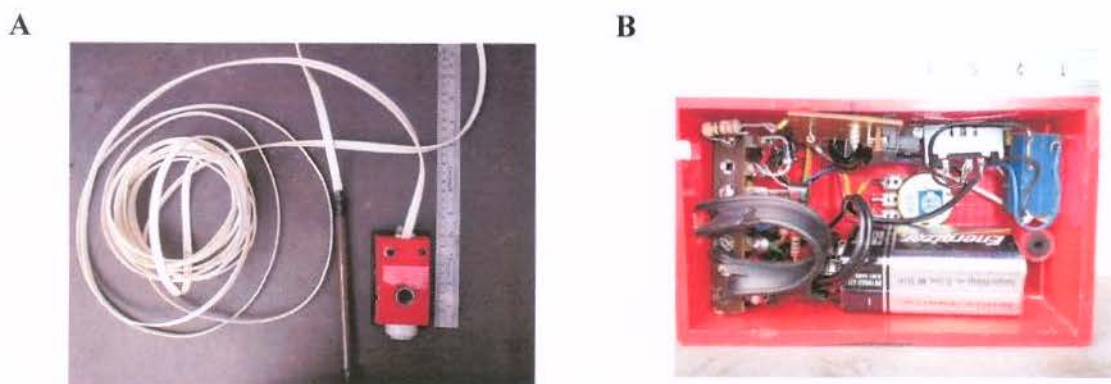


Figura 23: Medidor de nível eletrônico de água.

Caracterização do ambiente do entorno

O ambiente do entorno ao posto no raio de 100 metros, foi caracterizado e classificado conforme norma ABNT NBR 13786 (2001). Também foram analisadas as características do entorno no raio de 500 metros utilizando-se o mapa de Uso e Ocupação do Solo do *campus* UFRuralRJ de Goes e Xavier-da-Silva (1998).

Georreferenciamento dos poços e nivelamento topográfico

Este procedimento foi realizado com o apoio de um estudante de Engenharia de Agrimensura da UFRuralRJ. Foram obtidas as coordenadas geográficas no sistema UTM-SAD-69, a cota altimétrica da superfície do terreno (Z) e do topo da “boca” (Z_m) de cada poço de monitoramento para possibilitar o cálculo da carga hidráulica e gradiente hidráulico.

O procedimento iniciou-se com o transporte de coordenadas a partir da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) localizado no município do Rio de Janeiro pertencentes ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) para o posto de abastecimento com a utilização de 2 receptores GPS ($L1 = 1575,42$ Mhz) ASHTECH modelo PROMARK2 com 10 canais e precisão horizontal pós-processamento de $\pm(5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

Um dos receptores rastreou o ponto A por 2h e 30 min e o outro os pontos B e C por 5 minutos. A seguir realizou-se um levantamento planimétrico pelo processo de irradiação com uma estação total (LEICA, modelo TC TPS-100 com precisão linear $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$). A estação foi instalada no ponto B que serviu de vértice central e o vértice de orientação foi o ponto C. Finalmente foi feita a transformação das coordenadas locais dos poços para o sistema UTM (*Universal Transversal Mercator*).

Análise granulométrica do solo

Definiu-se apenas a sondagem 1 (SR1) para a caracterização granulométrica do solo já que não foram observadas diferenças significativas no perfil do solo entre as demais sondagens.

Durante a execução desta, foram coletadas amostras deformadas de solo (1 kg) respectivamente a 0,5-1,0- 3,0- 5,0 e 6,5 m de profundidade e acondicionadas em sacos plásticos.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas-SP (IAC) para a análise granulométrica com o método da pipeta descrito por Camargo *et al.* (1986).

Amostragem de água subterrânea

O procedimento de amostragem da água subterrânea foi realizado dez dias após o desenvolvimento dos poços. Segundo USEPA (1996b) esse intervalo de tempo (sugerido superior a uma semana) deve ser aguardado para que o regime do fluxo nas proximidades do poço se estabilize e para que haja o equilíbrio químico da água com os materiais utilizados na construção do poço.

Como a área em estudo é suspeita de contaminação por compostos orgânicos voláteis, em todos os poços (exceto o PM5) antes de iniciar a amostragem foi determinada a concentração de VOC nas proximidades dos poços ("*background*") e no momento em que foi removida a tampa (*gripper*) fez-se a leitura de VOC novamente, no topo do poço, conforme recomendação de Ritchey (2002).

A seguir foi determinado o nível estático da água nos PM's e identificada a presença de fase livre. A etapa seguinte consistiu em purgar os poços com o propósito de se renovar a água do interior antes de iniciar de amostragem.

Este procedimento é necessário pois a água estagnada dentro do poço não é representativa da água da formação em consequência dos seguintes fatores: presença de ar no topo da coluna d'água resultando em um gradiente da concentração de oxigênio com a profundidade, efeitos da perda de voláteis acima da coluna d'água, efeito de sorção no revestimento ou no pré-filtro,

reações químicas com os materiais utilizados como selantes e infiltração de águas superficiais (USEPA,1996a).

Foi adotada a técnica de purgar 3 vezes o volume de água de cada poço (Tabela 17) conforme sugerida pela ABNT NBR 13895 (1997) com um amostrador descartável (*bailer*) de 1 litro. Considerou-se a existência do volume de 2,21 litros de água a cada metro linear no tubo de 5,08 cm.

Tabela 17: Volume de água purgado em cada poço de monitoramento.

Poço	Coluna d'água no poço Ca (m)	Volume de água no poço $V_{po} = Ca * 2,21$ (l)	Volume a ser purgado $V_p = V_{po} * 3$ (l)	Volume purgado (l)	Data de execução
PM1	2,20	4,86	14,58	15	19/10/2005
PM2	1,92	4,24	12,72	13	
PM3	3,01	6,65	19,95	20	
PM4	2,03	4,48	13,44	14	11/01/2006
PM6	1,44	3,18	9,54	10	

Monitoramento dos parâmetros físico-químicos

Concomitantemente à purga foram monitorados os parâmetros físico-químicos da água subterrânea (pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido) com um medidor portátil multiparâmetro de qualidade de água *Horiba Water Checker U10* calibrado no campo com o respectivo padrão analítico.

Observou-se a estabilização desses parâmetros após a remoção de 15 litros de água e esta análise foi utilizada para se considerar quando a água com as características *in situ* foi alcançada indicando as condições ideais para amostragem. Diante disso o volume purgado foi praticamente o mesmo sugerido pela ABNT NBR 13895 (1997).

Coleta e preservação das amostras de água subterrânea

A coleta das amostras iniciou-se nos poços localizados a montante da área de armazenamento de diesel e gasolina, supostamente considerados os menos contaminados. O poço a jusante do tanque de diesel (PM5) não foi amostrado devido à presença de fase livre.

No procedimento de coleta foram utilizadas luvas, fio de *nylon* e amostradores descartáveis (*bailers*) para cada poço.

Apesar da utilização destes amostradores descartáveis não ser a técnica mais acurada para a coleta representativa de amostras de água subterrânea, em sítios suspeitos de contaminação por compostos orgânicos voláteis, sua utilização foi adotada devido ser um equipamento aceito pelas agências ambientais brasileiras, além da indisponibilidade de bombas e outros equipamentos necessários para a realização de amostragem de baixa vazão que é a técnica mais eficaz segundo a Agência de Proteção Ambiental Americana.

Os amostradores foram vagarosamente descidos no poço, minimizando ao máximo o turbilhonamento da água para evitar a aeração e perda de voláteis. Em seguida a água coletada foi transferida lentamente para frascos em duplicata, cedidos pelo laboratório onde foram realizadas as análises, tomando-se o cuidado de preencher todo o volume do frasco, não permitindo a presença de bolhas no seu interior e mantidas uma caixa térmica com gelo até o momento da entrega no laboratório.

A coleta de amostras para análise de PAH na água foi realizada em frascos âmbar de 1 L e as de BTEX's em frascos transparentes de 40 mL com tampa de teflon (*vial*).

Análises químicas da água

A quantificação dos compostos orgânicos BTEX's e PAH nas amostras de água foi realizada pelo laboratório particular TASQA Paulínia-SP que empregou os seguintes métodos de extração e análise quantitativa para os compostos orgânicos:

Compostos BTEX's: extração USEPA 5021 (*Headspace*); método de análise USEPA 8260B - HRGC-MS (*High Resolution Gas Chromatography - Mass Spectrometry*) com limite de quantificação 1,0 µg/L.

Compostos PAH: extração USEPA 3510 (Partição líquido-líquido); método de análise USEPA 8270C - GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*) com limite de quantificação de 1,0 µg/L para cada composto.

Quantificou-se os seguintes PAH's: 2-Metilnaftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo[a]antraceno, Benzo[a]pireno, Criseno Benzo[b]+[k]fluoranteno, Benzo[g,h,i]perileno, Dibenzo[a,h]antraceno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno[1,2,3-cd]pireno, Naftaleno, Fenantreno, Pireno.

Todas as amostras foram analisadas do prazo máximo de 15 dias a partir da coleta conforme resultados analíticos em anexo.

Determinação da condutividade hidráulica (k)

A condutividade hidráulica foi determinada *in situ* de duas maneiras distintas: ensaio de infiltração na zona não-saturada e *slug-test* na zona saturada.

Ensaio de infiltração

Realizou-se 2 ensaios de infiltração de nível constante segundo procedimento ABGE (1996) a uma distância de 3 metros e a 80 cm de profundidade para a caracterização da condutividade hidráulica desta unidade. Na perfuração empregou-se o mesmo trado manual descrito; em seguida o furo foi preenchido com água até a "boca", tomando-se este tempo como instante zero e determinado o tempo necessário para manter o nível constante adicionando 1 L de água para a determinação da vazão. Este procedimento foi realizado 5 vezes em cada ensaio para o cálculo da vazão média. Para a determinação da condutividade hidráulica aplicou-se a equação 1:

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{(Cu \cdot r)}$$

Equação 1

Fonte: (ZANGAR, 1953 *apud* ABGE, 1996).

Onde:

K = condutividade hidráulica (m/s)

Q = vazão (m^3/s)

h = profundidade do furo (m)

C_u = variável obtida em um ábaco do boletim ABGE (1996).

r = raio (m)

Slug-test

A condutividade hidráulica na zona saturada foi determinada com um ensaio *slug-test* tipo *falling-head* que consiste em causar um aumento instantâneo do nível d'água no poço e registrar o tempo de recuperação do nível. Esta operação foi realizada após a amostragem de todos os poços para evitar possíveis interferências nos parâmetros físico-químicos e químicos da água.

Inicialmente foi instalado um sensor de pressão com um registrador interno de dados da marca *In-Situ* modelo *Mini Troll 15 PSIG Standard P* programado para ler e registrar a pressão em intervalos de 2 s. O equipamento possui uma interface via *software* onde é possível converter os valores de pressão em coluna d'água (cm). Em seguida foi determinado o nível d'água estático com o medidor eletrônico e para causar a variação do nível d'água nos PMs foram adicionados subitamente 10 litros de água.

O equipamento registra a recuperação do poço e ao final da operação este é acoplado a um computador para a extração dos dados adquiridos. Estes dados são em formato de arquivo texto (*.txt) tempo (segundo) *versus* coluna d'água (cm). Finalmente os arquivos texto foram importados no *software Aquifer Test 3.0 (Waterloo Hydrogeologic Inc.)* para o cálculo da condutividade hidráulica com o método de Hvorslev (1951).

Cálculo da espessura verdadeira da fase livre no aquífero

A espessura da fase livre observada no poço de monitoramento (espessura aparente) é diferente da espessura real no aquífero.

Dentre os fenômenos responsáveis por essa diferença de espessuras, os mais importantes são a presença de efeitos capilares no meio poroso e sua ausência no poço e as diferenças entre as propriedades do fluido contaminante e da água presentes no sistema (FINOTTI, 2003).

Apenas no PM5 foi diagnosticada fase livre (óleo diesel). Neste PM, a espessura real da fase livre no aquífero (H_f) foi determinada com o método de Pasthovich (1979 *apud* USEPA, 1996a) equação 2.

$$H_f = \frac{(H_o \cdot (\rho_w - \rho_o))}{\rho_o}$$

Equação 2

Fonte: (PASTHOVICH, 1979 *apud* USEPA, 1996a).

H_f = espessura real da fase livre no aquífero (cm)

H_o = espessura da fase livre no poço de monitoramento (espessura aparente cm)

ρ_o = densidade do hidrocarboneto (g/cm^3)

ρ_w = densidade da água (g/cm^3)

5.3 - VULNERABILIDADE DO AQUIFERO NA ÁREA DO POSTO DE ABASTECIMENTO

A vulnerabilidade do aquífero na área do posto de abastecimento foi avaliada com o método GOD (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER e HIRATA, 1993).

Os índices adotados (Figura 24) para os parâmetros G (*Groundwater occurrence*) tipo de ocorrência da água subterrânea; O (*Overall lithology of the unsaturated zone*) características em termos litológicos e grau de consolidação, dos estratos acima da zona saturada; e D (*Depth*) profundidade do nível freático ou teto do aquífero confinado basearam nas características do sítio, obtidas após a etapa de Investigação Detalhada. O produto entre os três parâmetros ($G \times O \times D$) expressa em termos qualitativos o índice de vulnerabilidade local.

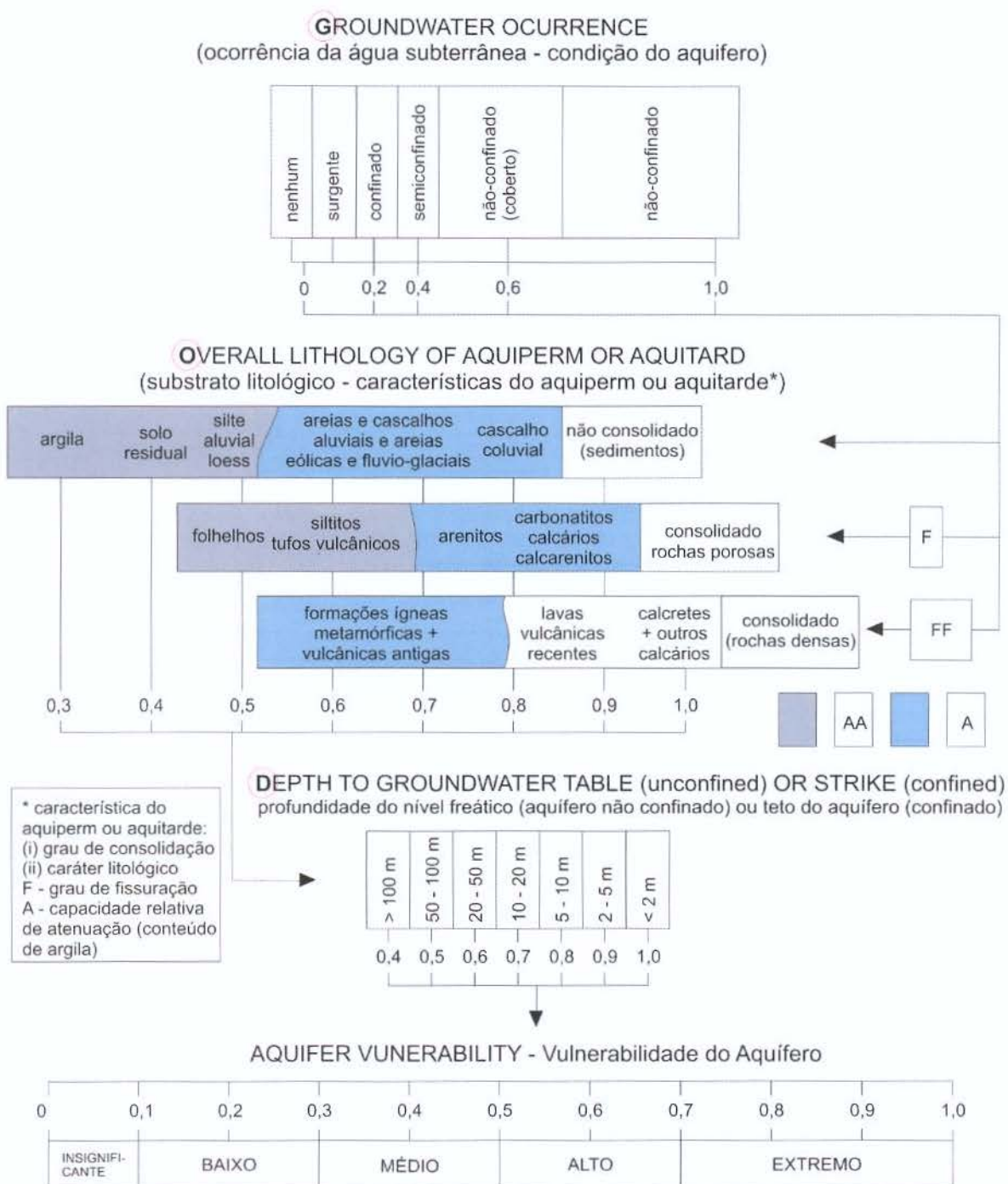


Figura 24: Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero - Método GOD.
 Fonte: (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER e HIRATA, 1993, p. 73).

5.4 - DETERMINAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE SEROPÉDICA-RJ POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS.

No município de Seropédica, o risco de contaminação das águas subterrâneas foi determinado para as áreas onde estão instalados os postos localizados sobre o Sistema Aquífero Piranema e na área do posto de abastecimento da UFRuralRJ.

A carga contaminante potencial destes estabelecimentos foi considerada elevada devido à escassez de dados de qualidade do solo e água subterrânea dos mesmos.

O critério adotado considera o fato de nenhum estabelecimento do município possuir licença ambiental e portanto podem estar operando com equipamentos e aspectos construtivos fora das especificações técnicas, além dos produtos manipulados serem armazenados em tanques em subsuperfície.

Destaca-se a importância da conceituação do risco de contaminação das águas subterrâneas que não é sinônimo do item Avaliação de Risco (2ª. Etapa do Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas do método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas - Figura 18 p. 55) que não foi realizado na área do posto de abastecimento UFRuralRJ.

O risco de contaminação é definido por Foster e Hirata (1993) como a probabilidade das águas subterrâneas serem contaminadas com concentrações acima dos padrões recomendados; e o item Avaliação de Risco segundo CETESB (1999) é a identificação e a quantificação dos riscos à saúde humana e a outros bens a proteger associados a uma área contaminada, sendo que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas.

6.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - ESTUDO DE CASO: O POSTO DE ABASTECIMENTO DA UFRuralRJ

Instalado na década de 70 (o mais antigo do município), desde então é utilizado exclusivamente para abastecer a frota (motos, carros, ônibus, caminhões e tratores) e outras máquinas (roçadeiras, moto-serras, geradores etc.) da instituição. Nestas condições de funcionamento o posto é classificado pela Resolução CONAMA 273 (2000) como Posto de Abastecimento, pois não há atividade de revenda.

A movimentação média mensal de combustíveis é de aproximadamente 8.000 L de gasolina, 6.000 L de óleo diesel e 1.800 L de álcool. A instituição adquire combustível de distribuidoras através de licitação e os tanques subterrâneos são abastecidos com 5.000 L ou 10.000 L conforme solicitação.

Existem 2 unidades de abastecimento aqui denominadas de UAGA (Unidade de Abastecimento de Gasolina e Álcool) e UADI (Unidade de Abastecimento de Óleo Diesel), ambas com cobertura. No local também é realizado lavagem de veículos e troca de óleo na unidade ULTO (Unidade de Lavagem e Troca de Óleo). As três unidades são desprovidas de canaletas para coleta de efluentes e caixa separadora de água e óleo (Figura 25A).

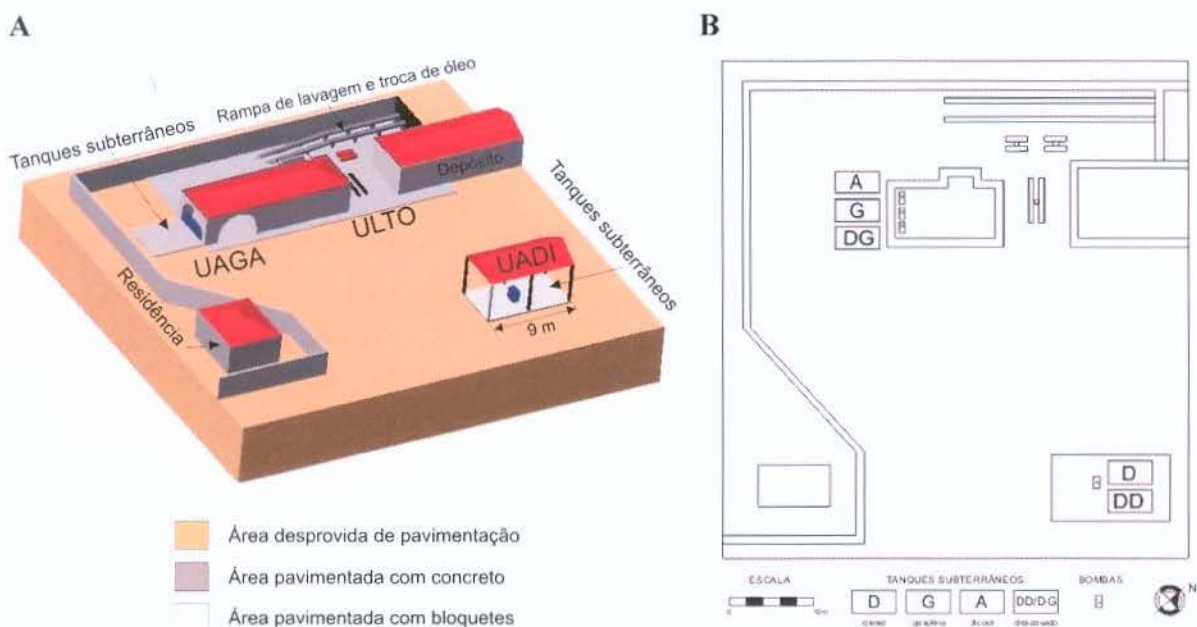


Figura 25A: Diagrama esquemático do posto com unidades de abastecimento e troca de óleo.

Figura 25B: Distribuição espacial das bombas e tanques subterrâneos

O sistema de armazenamento de combustível é composto por 5 tanques subterrâneos com capacidade de 20.000 litros cada (Figura 25B), com idade superior a 20 anos. Os tanques e a tubulação associada são de aço sem revestimento e proteção catódica.

As unidades de abastecimento apresentam as seguintes características:

Unidade de Abastecimento de Gasolina e Álcool (UAGA): composta por 1 tanque de álcool e 1 de gasolina (ambos em operação) e 1 tanque de gasolina desativado¹. O tanque desativado atualmente encontra-se com água possivelmente do contato com a água subterrânea.

Esta unidade possui 2 bombas de abastecimento (uma de gasolina e uma de álcool) em operação, fabricadas em 1994, e uma bomba desativada. O piso da ilha de abastecimento é revestido por concreto.

Unidade de Abastecimento de Óleo Diesel (UADI): nesta unidade é manipulado apenas óleo diesel. Possui 1 tanque de óleo diesel e uma bomba associada em operação (com mesma idade de fabricação da outra unidade) e 1 um tanque desativado². O piso da ilha de abastecimento é revestido por bloquetes.

A superfície altimétrica do terreno em janeiro de 2006 apresentava um desnível de 61,5 cm observado entre a base do PM6 para a base do PM1. O fluxo hidrodinâmico preferencial superficial é leste para oeste (Figura 26).

Esta superfície passa por freqüente alteração (erosão) devido à ausência de pavimentação, sistema de drenagem de águas pluviais além dos desgastes causados pela movimentação de veículos.

^{1,2} Os tanques subterrâneos foram desativados por terem apresentado problemas de estanqueidade observado no controle de estoque de combustíveis. Este controle é realizado diariamente com o registro volumétrico do consumo nas bombas e quinzenalmente através do controle volumétrico de combustível no interior do tanque com a utilização de uma régua própria.

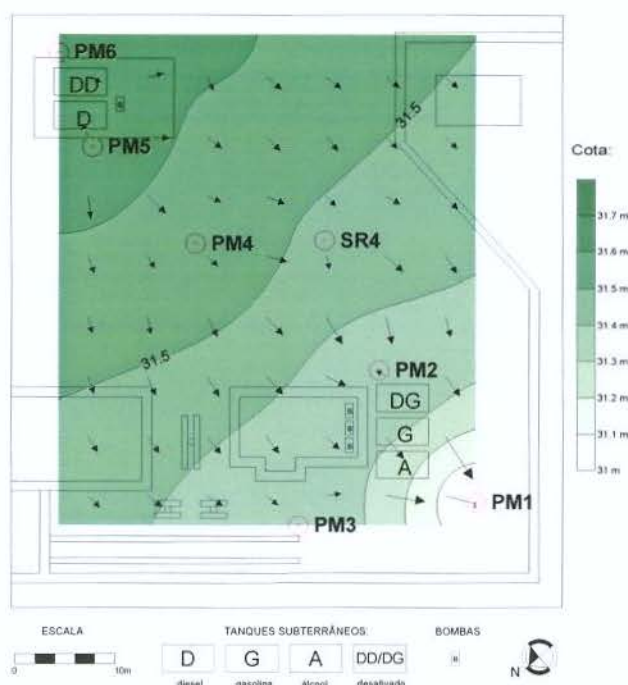


Figura 26: Superfície altimétrica do terreno e sentido preferencial das águas superficiais. Levantamento altimétrico realizado em 14/01/2006.

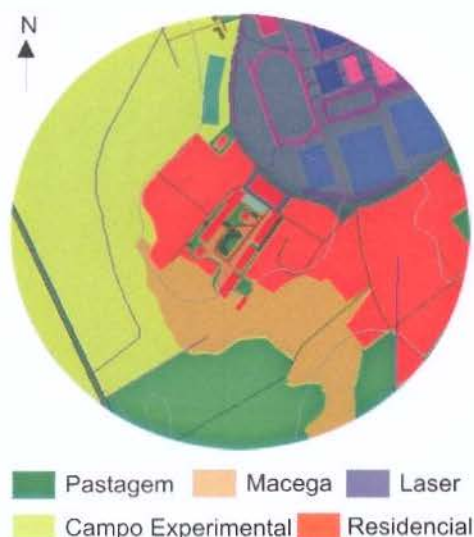
6.1.1 - Caracterização da área do entorno

O uso e ocupação do solo, no raio de 500 metros no entorno do posto de abastecimento, é definido por uma área residencial de funcionários na região mais próxima ao Pátio do Setor de Transporte (onde se localiza o posto), pastagens, campo de cultivo experimental e área de laser (Figura 27A).

O entorno no raio de 100 metros (Figura 27B) é caracterizado por: 6 residências de funcionários, ruas sem pavimentação desprovidas de rede de drenagem de águas pluviais. Tanto o posto quanto as residências utilizam o serviço de distribuição de água e esgoto de uma companhia pública e nenhuma residência possui poço de abastecimento de água.

Baseado nestas características do entorno, o posto é classificado como Classe 1 (ABNT NBR 13786, 1997). De acordo com esta classificação, a Diretriz para o Licenciamento Ambiental dos Postos de Combustíveis no estado do Rio de Janeiro (FEEMA DZ-1841, 2002) recomenda a utilização dos seguintes dispositivos expressos na Tabela 18 para a detecção/proteção contra vazamentos, derramamentos e transbordamentos.

A - Uso e Ocupação do Solo (raio 500 m)



B - Entorno (raio 100 m)



Figura 27: Caracterização da área entorno do posto de abastecimento.
 Fonte A: Base de Dados do *campus* UFRuralRJ (GOES e XAVIER-DA-SILVA, 1998).
 Fonte B: Satélite Ikonos II, fusão Pan-multiespectral resolução espacial de 1m (2002).

Tabela 18: Sistemas de proteção contra vazamento/derramamento/transbordamentos exigidos para posto Classe 1 no estado do Rio de Janeiro.

Ocorrência	Tipos de Proteção	Classe 1
Vazamento	Sensor de vazamento em interstícios de tanques de parede dupla;	Facultativo
	Válvula de retenção junto à sucção de cada bomba de abastecimento;	Obrigatório
	Poços de monitoramento da água subterrânea ABNT NBR 13784,1997;	Obrigatório
	Sensor de vapor de combustível em poços de monitoramento;	Obrigatório
	Sensor de detecção de combustível em lençol freático;	Obrigatório
	Sensor de medição contínua automático (eletrônico) do estoque de produtos nos tanques;	Obrigatório
	Controle de estoque por régua e livro movimentação de combustíveis	Obrigatório
	Sensor de detecção de vazamentos de líquidos para <i>sump</i> ¹ de tanque;	Facultativo
	Sensor de detecção de vazamentos em bacias de contenção instalados sob as bombas de abastecimento (<i>sump</i> de bomba);	Facultativo
Derramamento	Câmara de acesso à boca de visita (<i>sump</i> de tanque);	Obrigatório
	Câmara de contenção (<i>sump</i> de bomba) sob as bombas de abastecimento;	Obrigatório
	Canaletas e caixa separadora de água e óleo;	Obrigatório
	Válvula de segurança contra abaloamento junto às bombas de abastecimento;	Facultativo

¹ *sump* = câmara de contenção

Transbordamento	Descarga selada;	Obrigatório
	Câmara de contenção da descarga selada;	Obrigatório
	Válvula de proteção contra transbordamento junto ao tubo de enchimento;	Obrigatório
	Alarme de transbordamento;	Facultativo
	Válvula de retenção de esfera flutuante na linha de respiro (<i>float ball</i>);	Facultativo

Fonte: (FEEMA DZ-1841, 2002).

A ausência de todos os itens acima (exceto controle de estoque por régua) e outras exigências construtivas obrigatórias (como piso impermeável na ilha de abastecimento de diesel, inexistência de rede de drenagem de águas pluviais, canaletas de contenção de produtos, caixa separadora de água e óleo) e a existência de 2 tanques e uma bomba desativada no local, foram os indícios preliminares considerados para classificar a área como Suspeita de Contaminação, e iniciar uma Investigação Confirmatória.

6.2 - Diagnóstico Ambiental do Posto de Abastecimento da UFRuralRJ

6.2.1 - Compostos orgânicos voláteis (VOC) no solo

Nas sondagens preliminares a 1 metro de profundidade, conforme distribuição espacial Figura 28, não foram registradas anomalias na concentração de vapores de hidrocarbonetos no solo.

Nas etapas seguintes (sondagens de reconhecimento e perfuração dos poços de monitoramento) constatou-se apenas no PM5 (locado 1m a jusante do tanque de óleo diesel) anomalias na concentração de vapores no longo do perfil do solo, registradas a partir de 4,5 metros (Tabela 19) e óleo diesel em fase livre com 5 cm de espessura.

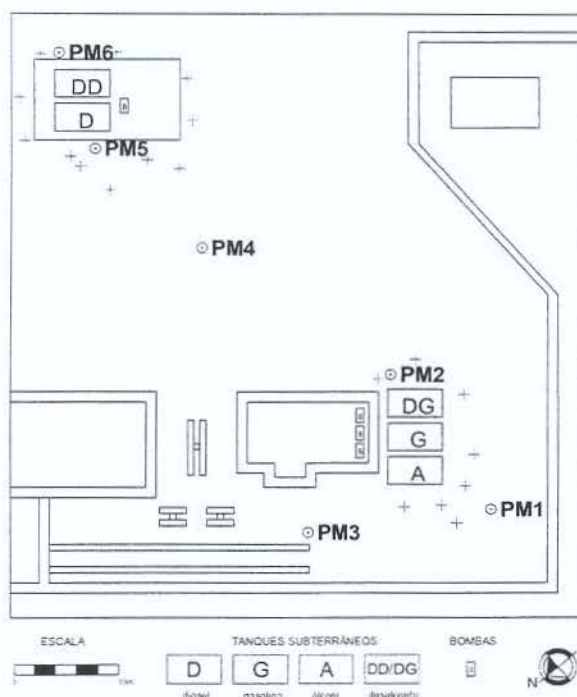


Figura 28: Distribuição das sondagens + (1 m de profundidade) para a quantificação de VOC.
Execução: 21/09/2005.

Tabela 19: Concentração de VOC ao longo do perfil vertical do solo no PM5.

prof. (m)	VOC (ppm)	prof. (m)	VOC (ppm)	prof. (m)	VOC (ppm)
1	0	4	0	5,0	30
2	0	4,5	cheiro	5,2	30
3	0	4,8	20	5,5	60

Execução: 23/09/2005.

6.2.2 - Caracterização litológica

A área investigada corresponde aproximadamente 1300 m² e através de 7 sondagens de reconhecimento até 6,5 m de profundidade foram identificadas 5 camadas de solo com base nos aspectos tátil/visual no campo (areno-argiloso amarelo, argilo-arenoso vermelho, argiloso amarelo, argiloso rosa e areno-argiloso cinza micáceo com estruturas reliquias plano-paralelas), conforme os perfis individuais das sondagens (Figura 29).

Toda superfície é desprovida de pavimentação impermeável (exceto as ilhas de abastecimento) e possui uma camada média de 20 cm de aterro (brita).

O perfil granulométrico (Tabela 20) apresenta um decréscimo de sedimentos na fração argila e um acréscimo na fração areia e silte em relação à profundidade investigada. De uma maneira geral é observado entre 0,3 a 1,2 m de profundidade solo areno-argiloso amarelo; 1,2 a 5,0 m solo argilo-arenoso vermelho e a partir de 5 m solo areno-argiloso cinza micáceo e estruturas reliquias plano-paralelas, sugerindo planos de foliação da rocha matriz, evidenciando a transição de um horizonte laterítico para um horizonte saprolítico de solo.

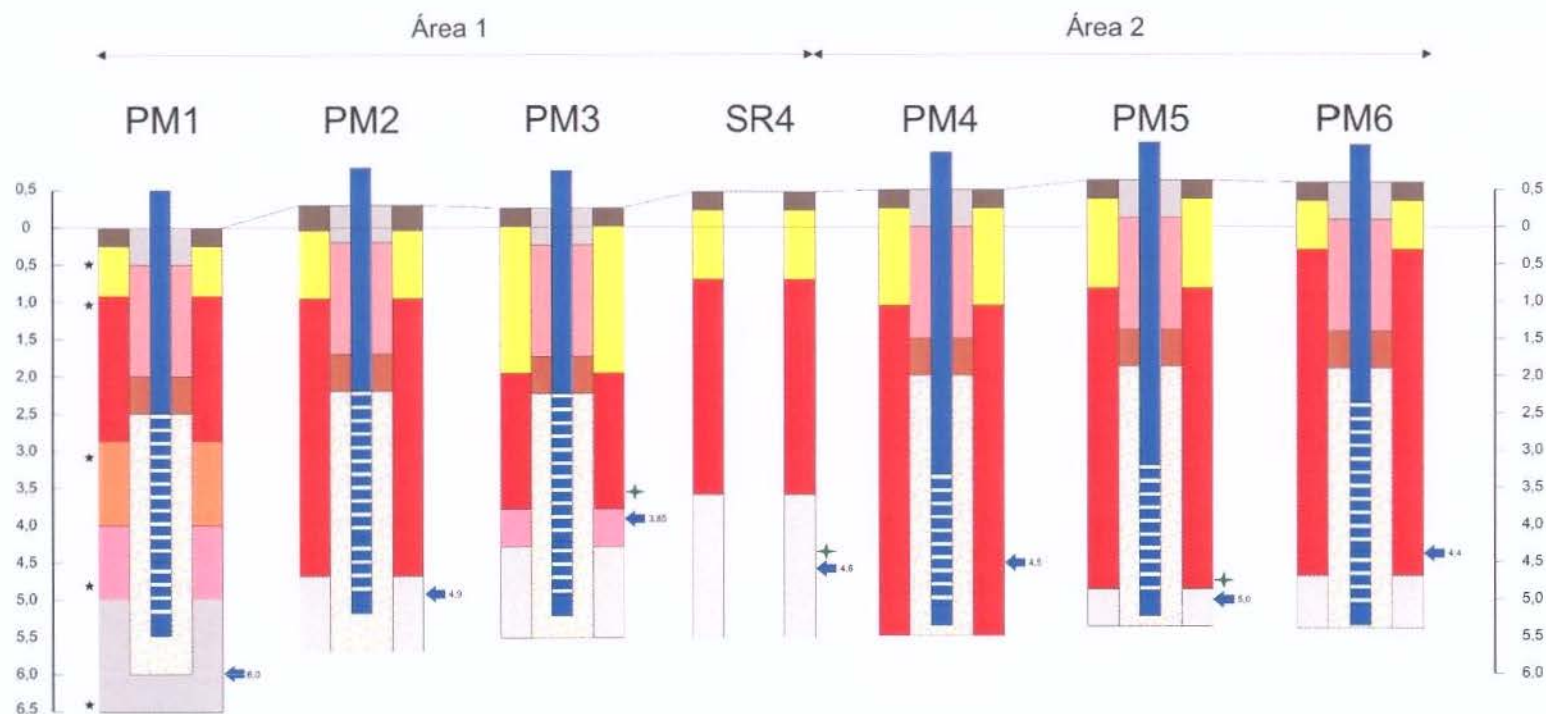
Apenas no PM1 foram observadas camadas argilosas amarela e rosa, com 1 m de espessura respectivamente a 3 e 4 m e no PM3 camada argilosa rosa com 0,5 de espessura a 4 m de profundidade.

Baseado nestas descrições físicas do solo, e o fato da área estar inserida em uma colina isolada na planície colúvio-aluvionar, este perfil de alteração do solo corresponde ao manto de alteração de rochas gnáissicas descritas por SEMADS (1996) como feições residuais de rochas Pré-cambrianas na área.

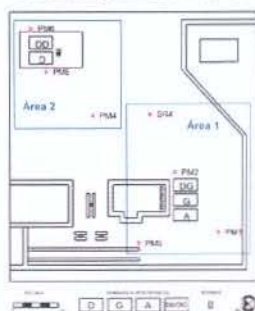
Tabela 20: Distribuição granulométrica e classificação textural no perfil do solo do PM1.

Prof. (m)	Argila (%) < 0,002 mm	Silte (%) 0,053 – 0,002 mm	Areia Total (%) 2,00 - 0,053 mm	Classificação Textural
0,5	53,4	2,5	44,2	Argila
1,0	43,3	3,6	53,1	Argilo-arenosa
3,0	40,1	22,5	37,3	Argila
5,0	32,5	27,0	40,5	Franco-argilosa
6,5	23,0	21,0	56,0	Franco-Argilo-arenosa

Análise: Laboratório de Física do Solo - Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); método da pipeta.
Memorial descritivo em Anexo I.



Localização dos PM's:



Características dos poços:



Legenda:

- Aterro (brita)
- Areno-argiloso amarelo ($K = 4,18 \cdot 10^{-5}$ cm/s)
- Argilo-arenoso vermelho
- Argiloso amarelo
- Argiloso rosa
- Areno-argiloso cinza micáceo com estruturas reliquias plano-paralelas

Figura 29: Perfis construtivo e litológico dos poços de monitoramento.

A primeira camada de solo sobreposta pelo aterro é areno-argilosa de condutividade hidráulica (K) $4,18 \cdot 10^{-5}$ cm/s (determinado através de ensaio de infiltração). Segundo Mello Teixeira (1967) essa grandeza corresponde a solo com característica semipermeável (Tabela 21).

As demais camadas de solo da zona não-saturada também possuem baixa permeabilidade (variando de semipermeável a impermeável), evidenciado pela classificação textural do solo (alta concentração de sedimentos na fração argila e silte), conforme análise granulométrica no perfil do PM1 (Tabela 20).

A permeabilidade é a variável geológica mais importante que governa o movimento de vapores na zona não-saturada (USEPA, 1997b). O caráter argiloso do solo na zona não-saturada e, conseqüentemente de permeabilidade baixa, restringe a migração vertical da fase vapor evidenciado pelas leituras nulas da concentração de vapores de combustíveis nas sondagens preliminares a 1 m, principalmente próximo ao PM5 onde apesar de existir produto em fase livre apenas foi diagnosticado compostos voláteis a partir de 4,5 m.

Outra variável que influenciou nas leituras baixas de VOC (máximo 60 ppm) é a composição do contaminante analisado (óleo diesel) que possui muitos componentes com baixa pressão de vapor e conseqüentemente dificulta o diagnóstico com a técnica de quantificação empregada. Segundo Penner (2000) o óleo diesel é pelo menos uma ordem de grandeza menos volátil do que a gasolina.

Tabela 21: Variação da condutividade hidráulica e características do solo.

K (cm/s)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
Solo	Pedregulhos				Areias			Areias finas siltosas e argilosa, siltes argilosos				Argilas	
Permeabilidade	Permeável							Semipermeável				Impermeável	
Aqüífero	Bom							Pobre				Não é considerado aquífero	

Fonte: (MELLO TEIXEIRA, 1967 *apud* FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).

Durante a sondagem de reconhecimento a montante do tanque desativado de gasolina (posteriormente instalado o PM2) observou-se manchas negras opacas no solo entre 4,10 a 4,6 m de profundidade (zona não-saturada) e a quantificação de VOC neste intervalo foi nula.

Sugere-se que estas manchas sejam provenientes de um episódio de vazamento antigo que levou a desativação deste tanque e estas são produto da degradação do combustível que justificaria as leituras de VOC nulas e a coloração opaca.

6.2.3 - Caracterização hidrodinâmica

A Tabela 22 apresenta os valores da carga hidráulica calculados após a obtenção da cota altimétrica do solo na base dos poços e do topo de cada poço (referência a partir de onde foram determinados os níveis d'água - N.A.) e correção do N.A. no PM5 devido à existência de fase livre.

Tabela 22: Coordenadas dos poços de monitoramento e carga hidráulica.

ID	Coordenadas UTM SAD69		Cota Z (m) terreno	Cota Zm (m) topo do poço	Nível d'água N.A. (m)	Fase Livre F.L. (m)	N.A. Corrigido NA _c (m)	Carga Hidráulica H (m)
	LAT (m)	LON (m)					Na _c = Na + (FL(ρ _o /ρ _w))	H=Na _c -Zm
PM1	7480960,705	634239,358	31,043	31,499	4,27	-	4,27	27,229
PM2	7480958,744	634219,544	31,347	31,561	3,67	-	3,67	27,891
PM3	7480941,995	634229,301	31,342	31,682	4,22	-	4,22	27,462
PM4	7480952,539	634200,343	31,563	31,469	3,97	-	3,97	27,499
PM5	7480950,913	634186,154	31,667	31,848	5,04*	0,05	5,08	26,768
PM6	7480954,513	634176,582	31,658	32,001	4,40	-	4,40	27,441
SR4	7480962,625	634208,521	31,498	31,498	3,75	-	3,75	27,748

*considerado N.A.= nível da interface água/hidrocarboneto ; F.L.= espessura fase livre;
ρ_o= densidade do hidrocarboneto (0,820 g/mL); ρ_w= densidade da água (0,998 g/mL).

Carga hidráulica determinada em 14/01/2006.

Com base nas similaridades geológicas e hidráulicas entre os poços de monitoramento foram individualizadas 2 áreas:

O conjunto de PM's 1, 2, 3 e SR4 foi denominado ÁREA 1 pois nesta área o nível d'água durante a sondagem foi encontrado somente na camada areno-argilosa cinza. Esta camada foi penetrada 1 metro nos PM's 1 e 2 e na SR4 dois metros.

Apesar do nível d'água do PM3 ter sido encontrado 35 cm acima desta camada este também foi considerado integrante da área. Neste conjunto foi observada após 24 horas, uma ascensão do nível d'água aproximadamente 80 cm antes da instalação do revestimento.

Nesta área o menor gradiente hidráulico médio entre os meses de janeiro a abril de 2006 foi entre os poços 1 e 3 e o maior entre os poços 1 e 2 (Tabela 23). O gradiente hidráulico médio considerado foi 0,04 (4%). O sentido do fluxo subterrâneo (Janeiro/2006) é de leste para oeste semelhante ao fluxo superficial.

Tabela 23: Gradiente hidráulico entre os poços de monitoramento da ÁREA 1 - Janeiro a Abril 2006.

Distância ¹ (m)		Variação da Carga Hidráulica ² (m)				Gradiente Hidráulico ³ = $\Delta h / \Delta l$				Média
PM's	Δl	Δh jan	Δh fev	Δh mar	Δh abr	i jan	i fev	i mar	i abr	$i = \Sigma/4$
1 e 2	19,910	0,662	1,442	1,062	0,902	0,033	0,072	0,053	0,045	0,051
1 e 3	21,241	0,233	0,803	-0,427	-0,347	0,011	0,038	-0,020	0,016	0,021
2 e 3	19,383	-0,429	-0,639	-1,489	-1,249	-0,022	-0,033	-0,077	0,064	0,049

1. Distância calculada através diferenças entre as coordenadas dos PM's (Tabela 24);
2. Variação da carga hidráulica calculada a partir de N.A (Tabela 26) - Zm (Tabela 22) entre poços; sinal negativo indica fluxo na ordem inversa dos poços analisados.
3. Adimensional.

O conjunto de poços 4, 5 e 6 foi denominado ÁREA 2. Nestes o nível d'água foi encontrado durante a sondagem na camada argilo-arenosa (exceto PM5 na camada areno-argilosa cinza). Apenas os PM's 5 e 6 penetraram na camada areno-argilosa cinza respectivamente 50 e 70 cm.

Nesta área o gradiente hidráulico médio entre os meses avaliados variou entre 0,004 a 0,055 (Tabela 26) e foi considerado o valor médio 0,033 (3,3%). As Figuras 30, 31, 32 e 33 ilustram a potenciométrica entre os meses avaliados e a Tabela 25 expressa a variação do fluxo subterrâneo preferencial.

Tabela 24: Gradiente hidráulico entre os poços de monitoramento da ÁREA 2 - Janeiro a Abril 2006.

Distância (m)		Variação da Carga Hidráulica (m)				Gradiente Hidráulico = $\Delta h / \Delta l$				Média
PM's	Δl	Δh jan	Δh fev	Δh mar	Δh abr	i jan	i fev	i mar	i abr	$i = \Sigma/4$
4 e 5	14,281	-0,641	-0,681	-0,721	-0,251	-0,045	-0,048	-0,050	-0,018	0,040
4 e 6	23,842	0,058	-0,108	-0,078	0,222	-0,002	-0,005	-0,003	0,009	0,004
5 e 6	10,226	0,583	0,573	0,643	0,473	0,057	0,056	0,063	0,046	0,055

Tabela 25: Sentido preferencial do fluxo subterrâneo (rumo) - Janeiro a Abril 2006.

Área	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
1	273°	274°	321°	320°
2	33°	20°	35°	8°

Janeiro - 2006

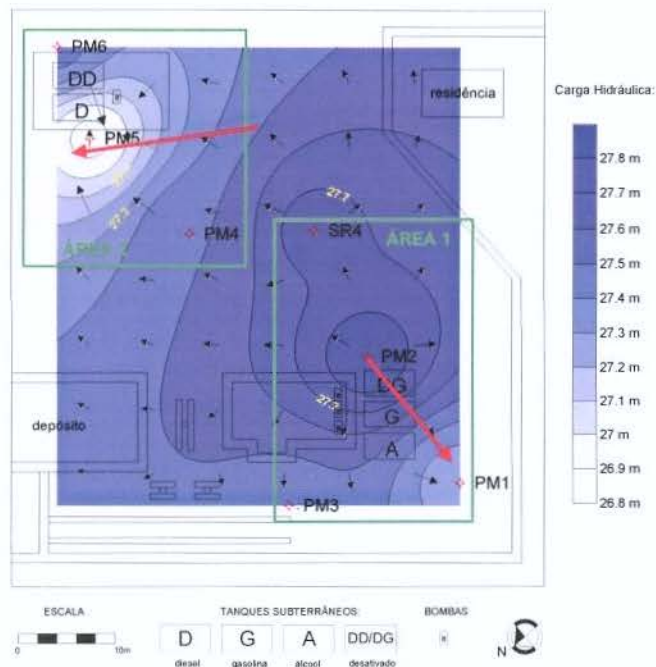


Figura 30: Potenciometria (01/2006). Seta vermelha: sentido predominante do fluxo subterrâneo. Carga hidráulica determinada em 14/01/2006; Interpolador *software Surfer 8.0* (krigagem).

Fevereiro - 2006

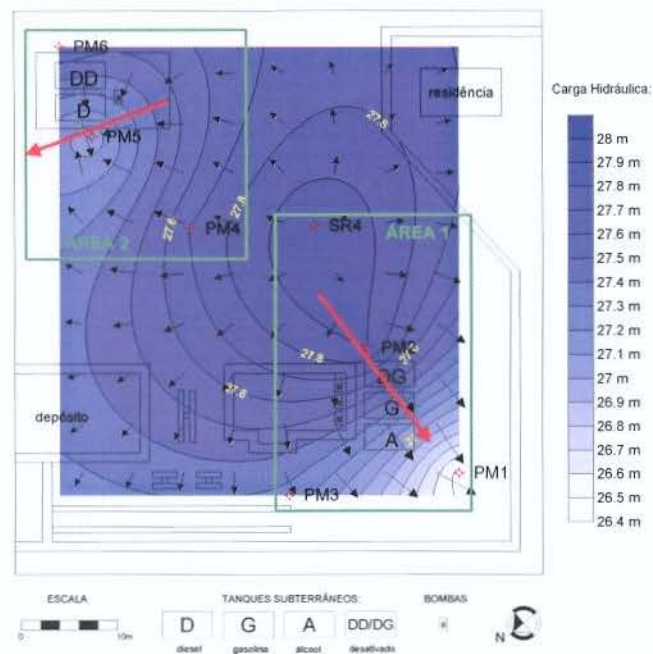


Figura 31: Potenciometria (02/2006). Seta vermelha: sentido predominante do fluxo subterrâneo. Carga hidráulica determinada em 22/02/2006; Interpolador *software Surfer 8.0* (krigagem).

Março - 2006

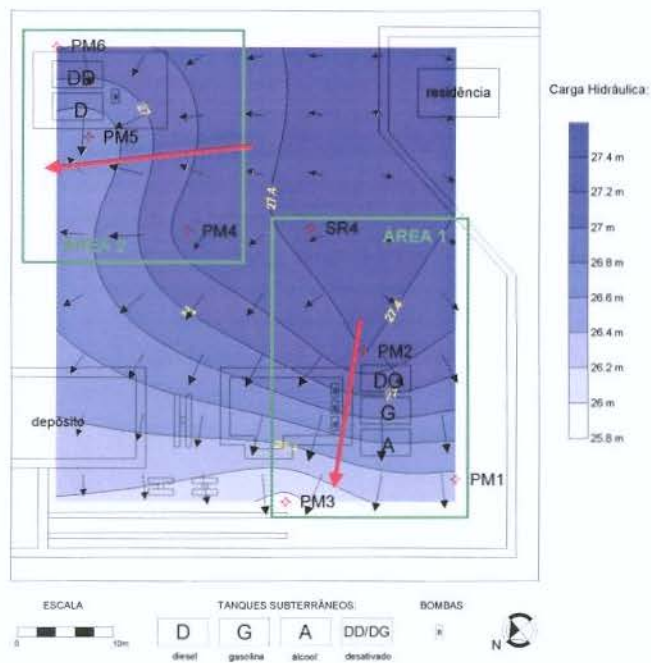


Figura 32: Potenciometria (03/2006). Seta vermelha: sentido predominante do fluxo subterrâneo. Carga hidráulica determinada em 22/03/2006; Interpolador *software Surfer 8.0* (krigagem).

Abril - 2006

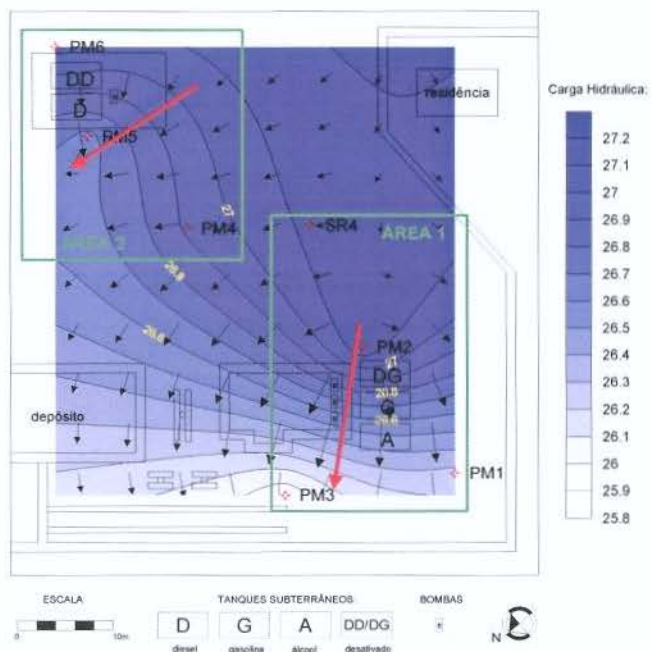


Figura 33: Potenciometria (04/2006). Seta vermelha: sentido predominante do fluxo subterrâneo. Carga hidráulica determinada em 18/04/2006; Interpolador *software Surfer 8.0* (krigagem).

Entre os meses de Outubro/2005 a Abril/2006 a variação média do nível d'água nos PM's foi de 1,78 m na ÁREA 1 e 0,56 m na ÁREA 2 (Tabela 26; Figuras 34 e 35). Conforme o projeto construtivo, mesmo com essas variações o nível d'água permaneceu no segmento da seção filtrante de todos os poços.

No mesmo período, admitindo que a geratriz inferior dos tanques subterrâneos esteja a uma profundidade de 4,0 m (limite máximo recomendado para instalação), porções dos tanques da UAGA ficaram na zona saturada observado no PM2, poço locado o mais próximo dos tanques: menor N.A.= 3,66 m (3,44 a partir do solo) (Figura 36) situação diferente da UADI onde os tanques permaneceram na zona não-saturada: menor N.A.= 4,40 m (4,06 a partir do solo) poço mais próximo PM6.

Tabela 26: Variação do nível d'água entre os meses de Outubro de 2005 a Abril de 2006.

Determinado a partir do topo do poço (Zm).

Período		2005			2006				Variação		
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Max	Min	Δ
Precipitação (mm) ¹		48,5	163,5	217,3	151,2	234,4	95,1	66,6			
N.A. (m)											
ÁREA 1	PM1	3,80	3,78	3,47	4,27	5,04	5,15	5,23	5,23	3,47	1,76
	PM2	4,08	4,04	3,71	3,67	3,66	4,15	4,39	4,39	3,66	0,73
	PM3	2,97	2,91	3,37	4,22	4,42	5,76	5,76	5,76	2,91	2,85
ÁREA 2	PM4	-	-	-	3,97	3,76	4,16	4,55	4,55	3,76	0,79
	PM5	4,97	4,89	5,14	4,99	4,82	5,26	5,18	5,26	4,82	0,44
	PM6	-	-	-	4,56	4,40	4,66	4,86	4,86	4,40	0,46

Fonte: 1. Estação Meteorológica Ecologia Agrícola Km 47 INMET/PESAGRO, Seropédica-RJ.

ÁREA 1

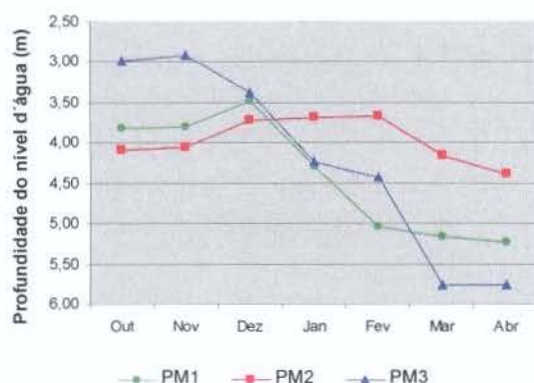


Figura 34: Variação do nível d'água nos poços de monitoramento da Área 1.

ÁREA 2

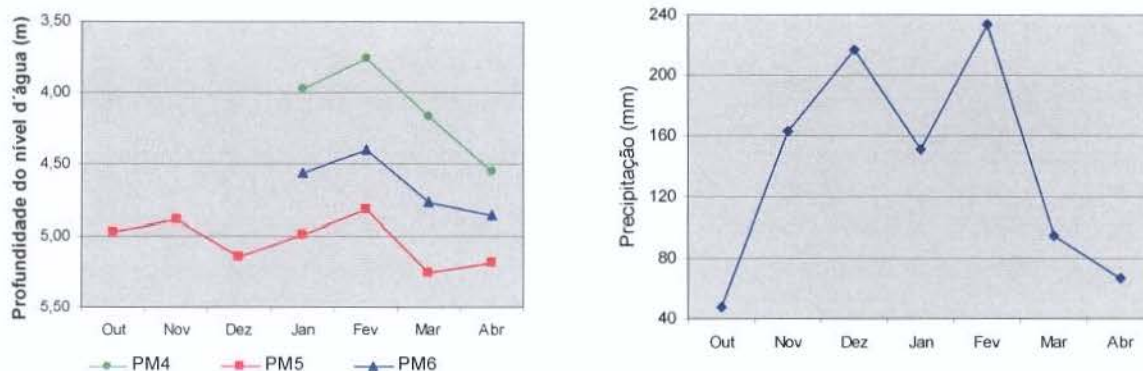


Figura 35: Variação do nível d'água nos poços de monitoramento da Área 2.

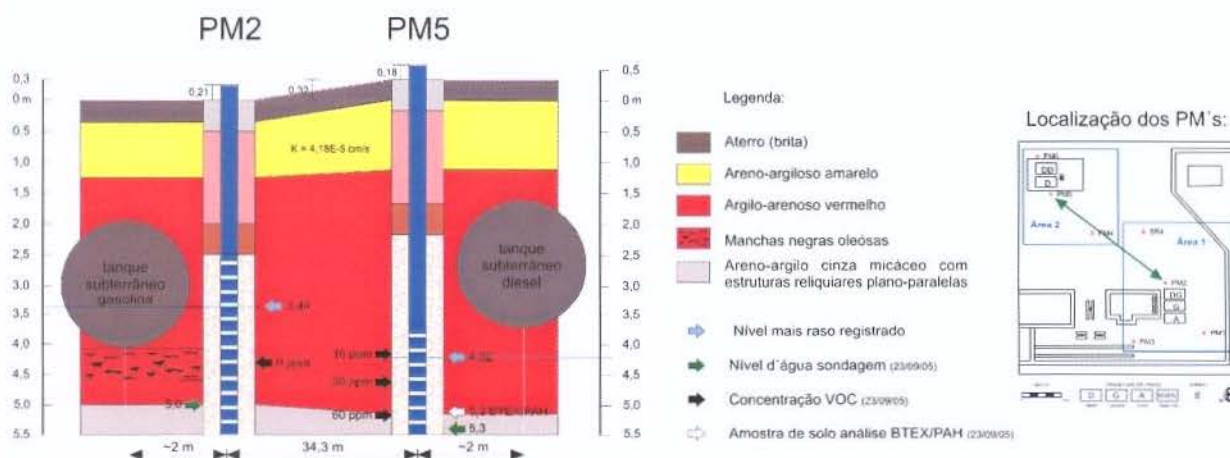


Figura 36: Perfil longitudinal entre os poços de monitoramento 2 e 5.

O solo caracterizado como residual correspondeu ao mesmo tipo de cobertura definido por Monsorens *et al.* (2003) para este local e estes autores consideram os locais onde afloram solos residuais no município como integrante do Sistema Aquífero Fraturado, sobreposto a rochas fraturadas do embasamento Pré-cambriano.

A espessura média da zona não-saturada é 4,26 m, a camada areno-argilosa cinza foi considerada um aquífero intergranular semi-confinado (demais camadas da zona não-saturada semi-permeáveis).

Considerando a camada areno-argilosa amarela homogênea e isotrópica, fluxo vertical ($i=1$), porosidade efetiva de 20% (valor para este tipo de solo Freeze e Cherry (1979) e valor de

condutividade hidráulica determinado *in situ*, foi encontrada velocidade de escoamento vertical no meio poroso de 18 cm/dia e uma partícula de água demora em média 8,3 dias para atravessar esta camada admitindo espessura média de 1,5 m. (Tabela 27).

Tabela 27: Variáveis e fórmulas do cálculo da velocidade média linear do fluxo vertical na camada areno-argilosa amarela.

K (cm/s) ¹	K (m/dia)	i	η_e (%)	V (m/dia)	Tempo (dias) para percorrer 1,5 m.
				$V_x = Ki/\eta_e$	$T = 1,5 / V_x$
$4,18 \cdot 10^{-5}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$	1	20	0,1805	8,3

1. Memorial do cálculo da condutividade hidráulica em anexo II.

Considerando o fluxo no meio poroso homogêneo e isotrópico e os valores encontrados de condutividade hidráulica que variaram entre $1,22 \cdot 10^{-4}$ a $6,75 \cdot 10^{-5}$ cm/s, grandezas coerentes com o tipo de solo do segmento ensaiado (argilo-arenoso) conforme Tabela 21, foi encontrado o tempo médio para o deslocamento de 1 metro de uma partícula na água subterrânea de 41 dias na área 1 ($i = 4\%$) e 28 dias na área 2 ($i = 3,3\%$) (Tabela 28).

Tabela 28: Estimativa da vazão, velocidade média linear e tempo de transporte em função dos valores médios de condutividade hidráulica e gradiente hidráulico.

Poço		Condutividade Hidráulica K (cm/s)	Gradiente Hidráulico i	Vazão Q (cm ³ /s/cm ²)	Porosidade Efetiva η_e (%)	Vel. Média Linear V _x (cm/s)	Tempo para deslocar 1m (dia)
				$Q = -KAi$		$V_x = Q/\eta_e A$	$= 1/ V_x/3600 \cdot 24$
Área 1	PM1	$6,75 \cdot 10^{-5}$	0,040	$2,70 \cdot 10^{-6}$	15	$1,80 \cdot 10^{-5}$	63,9
	PM2	$1,77 \cdot 10^{-4}$	0,040	$7,08 \cdot 10^{-6}$	15	$4,72 \cdot 10^{-5}$	24,4
	PM3	$1,22 \cdot 10^{-4}$	0,040	$4,89 \cdot 10^{-6}$	15	$3,26 \cdot 10^{-5}$	35,3
Área 2	PM4	$2,63 \cdot 10^{-4}$	0,033	$8,68 \cdot 10^{-6}$	15	$5,79 \cdot 10^{-5}$	19,9
	PM5	$1,99 \cdot 10^{-4}$	0,033	$6,57 \cdot 10^{-6}$	15	$4,38 \cdot 10^{-5}$	26,3
	PM6	$1,35 \cdot 10^{-4}$	0,033	$4,46 \cdot 10^{-6}$	15	$2,97 \cdot 10^{-5}$	38,7

Condutividade hidráulica do PM5 determinada a partir de média entre os demais PM's. Poço não ensaiado devido presença de fase livre.

A condutividade hidráulica da fase livre de diesel no PM5 é $6,96 \cdot 10^{-5}$ cm/s e desprezando as heterogeneidades do meio poroso e efeitos de retardamento, esta se desloca aproximadamente com velocidade 4 vezes inferior à água subterrânea (Tabela 29).

Tabela 29: Estimativa da velocidade média linear da fase livre de diesel no PM5.

Condutividade Hidráulica K (cm/s)	Permeabilidade Intrínseca k (cm ²)	Condutividade Fase Livre K_{fl} (cm/s)	Vel. Média Linear V_x (cm/s)	Vel. Média Linear V_x (m/dia)
	$k = (K \cdot \mu_a) / (\rho_a \cdot g)$	$K_{fl} = (k \cdot \rho_d \cdot g) / \mu_d$	$V_x = K_{fl} i / \eta_e$	$V_x = V_x \cdot 869,56$
$1,99 \cdot 10^{-4}$	$2,31 \cdot 10^{-9}$	$6,96 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	0,01

μ_a (Viscosidade dinâmica da água¹ = 0,0114 g/cm.s); ρ_a (Densidade da água² = 0,998 g/cm³);
 g (Aceleração da gravidade = 981 cm/s²); μ_d (Viscosidade dinâmica do diesel³ = 0,027 g/cm.s);
 ρ_d (Densidade do diesel⁴ = 0,827 g/cm³).

Fonte 1,2,3,4: a 15° (OLIVEIRA *et al.*, 1990 *apud* OLIVEIRA, 1992).

A espessura real da fase livre no aquífero determinada com o método de Pasthovich (1979 *apud* USEPA, 1996a) a partir de 5 cm de fase livre aparente de diesel no PM5 corresponde a 1,03 cm (Tabela 30).

Tabela 30: Cálculo da espessura real da fase livre no PM5.

Espessura aparente H_o (cm)	Densidade da água ¹ (a 15°) ρ_w (g/cm ³)	Densidade do diesel ¹ (a 15°) ρ_o (g/cm ³)	Espessura real ² (cm) $H_r = \frac{(H_o \cdot (\rho_w - \rho_o))}{\rho_o}$
5	0,998	0,827	1,03

Fonte: 1. (OLIVEIRA *et al.*, 1990 *apud* OLIVEIRA, 1992); 2. (PASTHOVICH, 1979 *apud* USEPA, 1996a).

6.2.4 - Análise da concentração de hidrocarbonetos no solo e água subterrânea

A análise da concentração de BTEX's (compostos encontrados tanto na composição da gasolina quanto do óleo diesel) revelou que nas amostras de água subterrânea dos PM's 1,2,3,4,6 estes compostos estão abaixo do limite de detecção do método empregado (1,0 µg/L) e este é inferior ao valor máximo permitido para a água subterrânea no estado do Rio de Janeiro (Tabela 31), portanto estes poços não estão contaminados por BTEX's.

Apenas a água do PM5 não foi amostrada devido a presença de 5 cm de fase livre, além de ter sido diagnosticado BTEX's no solo a 5,5m (Tabela 32). A fonte desses compostos BTEX's e da fase livre é associada a perda de estanqueidade do sistema de armazenamento subterrâneo de óleo diesel já que este poço está locado a 1 metro a jusante deste.

Tabela 31: Concentração de BTEX's na água subterrânea.

Poço	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)		BTEX (total) (µg/L)	Contaminado BTEX ?
				m+p	o		
PM1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	Não
PM2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	Não
PM3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	Não
PM4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	Não
PM5	Poço não amostrado devido presença de fase livre (5 cm)						Sim
PM6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	Não
LQ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	Não
VMP	5	170	200	300		-	

m+p= soma metaxileno e paraxileno; o = ortoxileno.

Amostragem 19/10/05; análise 26/10/05.

LQ - Limite de Quantificação (1 µg/L exceto PM4 e PM6 = 4 µg/L):

Método extração USEPA 5021 - *Headspace*. Método Análise USEPA 8260B - HRGC-MS.

VMP - Valor Máximo Permitido no estado do Rio de Janeiro (FEEMA DZ -1841, 2002).

Laudos Analíticos em Anexo III.

Tabela 32: Concentração de BTEX's no solo.

ID	Profundidade (m)	Benzeno (µg/kg)	Tolueno (µg/kg)	Etilbenzeno (µg/kg)	Xilenos (µg/kg)	
					m+p	o
SR4	5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PM3	4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PM5	5,5	<LQ	49,2	56,9	64,7	87,3
LQ	-	1	1	1	1	1
VMP	-	1.000	130.000	50.000	25.000	

m+p = soma metaxileno e paraxileno; o = ortoxileno.

Amostragem 27/04/05; análise 11/05/05.

LQ - Limite de Quantificação:

Método extração USEPA 5021 *Headspace*. Método análise USEPA 8015D - HRGC-FID.

VMP - Valor Máximo Permitido no estado do Rio de Janeiro (FEEMA DZ-1841, 2002).

Laudos Analíticos em Anexo III.

À profundidade de 5,5 m do solo do PM5 (onde foi registrada a maior concentração de VOC na zona não-saturada) a concentração dos compostos BTEX's está abaixo do valor máximo permitido (inferior aproximadamente: tolueno 2600x, etilbenzeno 880x e xilenos 165x). Entretanto, a maior massa desses contaminantes se encontra abaixo dessa profundidade já que este poço apresentou fase livre. Apesar da água no PM5 não ter sido amostrada é esperado encontrar estes contaminantes, já que são os compostos de maior solubilidade do óleo diesel.

A análise dos PAH's no solo do PM5 a 5,5m de profundidade detectou apenas 2-metilnaftaleno e naftaleno. O valor de referência adotado pelo estado do Rio de Janeiro (Lista Holandesa) não considera o 2-metilnaftaleno na soma dos compostos poliaromáticos que perfazem o valor máximo permitido (apenas os compostos em negrito na Tabela 33).

Com esta consideração, o somatório dos compostos PAH está aproximadamente 184 x inferior ao limite máximo permitido. Igualmente aos compostos BTEX's a maior massa desse contaminante se encontra abaixo dessa profundidade.

Tabela 33: Concentração de PAH na amostra de solo do PM5 a 5,5 m.

Composto	PM5 5,5 m	LQ (µg/kg)	Valor Máximo Permitido ¹ (µg/kg)
	Concentração (µg/kg)		
2-Metilnaftaleno	693,9	10,0	-
Acenafteno	< LQ	10,0	-
Acenaftileno	< LQ	10,0	-
Antraceno	< LQ	10,0	-
Benzo[a]antraceno	< LQ	10,0	-
Benzo[a]pireno	< LQ	10,0	-
Benzo[b]+[k]fluoranteno	< LQ	10,0	-
Benzo[g,h,i]perileno	< LQ	10,0	-
Criseno	< LQ	10,0	-
Dibenzo[a,h]antraceno	< LQ	10,0	-
Fluoranteno	< LQ	10,0	-
Fluoreno	< LQ	10,0	-
Indeno[1,2,3-cd]pireno	< LQ	10,0	-
Naftaleno	217,3	10,0	-
Fenantreno	< LQ	10,0	-
Pireno	< LQ	10,0	-
PAH (total =10) soma compostos em negrito	217,3		40.000

Amostragem 30/09/05; análise 14/10/05.

LQ - Limite de Quantificação:

Método extração USEPA 3550 - Extração por ultrassom. Análise EPA 8270C - GC-MS.

1. No Estado do Rio de Janeiro o órgão ambiental adota os valores estabelecidos pela Lista Holandesa para intervenção correspondendo o somatório dos valores acima em negrito.

Laudos Analíticos em Anexo III.

Durante a perfuração do PM2 (locado a 1 metro a montante de um tanque de gasolina desativado) foram observados entre 4 a 4,5 m de profundidade, resíduos oleosos com coloração opaca na zona não-saturada (Figura 36). Este óleo residual (produto da degradação de gasolina) foi considerado como correspondente do episódio de perda de estanqueidade que levou a desativação deste tanque. A quantificação de VOC nesta profundidade foi nula, indicando que os compostos de alta pressão volatilizaram-se ou foram degradados.

Neste poço apenas foram diagnosticados 2-metilnaftaleno e naftaleno (aproximadamente 54 vezes abaixo do máximo permitido na água subterrânea) (Tabela 34). A ascensão do nível

d'água em 1 metro após a sondagem (inicialmente atingido a 5 metros) colocou a água subterrânea em contato com a camada oleosa solubilizando estes compostos. Sugere-se que esta concentração não corresponde à concentração destes contaminantes na zona saturada. Estes compostos da gasolina possuem baixa solubilidade em água, alto coeficiente de partição orgânica e baixa pressão de vapor, portanto possuem baixa mobilidade e tendem a permanecer na fase residual até sua degradação.

Em relação aos compostos BTEX a concentração na água foi inferior ao limite de quantificação (1µg/L) que sugere que esta fase residual não atua como fonte destes compostos para a água subterrânea.

Tabela 34: Concentração de PAH nas amostras de água dos PM's 2 e 4.

Composto	Concentração (µg/L)		LQ (µg/L)	Valor máximo permitido ¹ (µg/L)
	PM2	PM4		
2-metilnaftaleno	0,8	< LQ	0,05	-
Acenafteno	< LQ	< LQ	0,05	-
Acenaftileno	< LQ	< LQ	0,05	-
Antraceno	< LQ	< LQ	0,05	5
Benzo[a]antraceno	< LQ	< LQ	0,05	0,5
Benzo[a]pireno	< LQ	< LQ	0,05	0,05
Benzo[b]+[k]fluoranteno	< LQ	< LQ	0,05	0,05
Benzo[g,h,i]perileno	< LQ	< LQ	0,05	0,05
Criseno	< LQ	< LQ	0,05	0,05
Dibenzo[a,h]antraceno	< LQ	< LQ	0,05	-
Fluoranteno	< LQ	< LQ	0,05	1
Fluoreno	< LQ	< LQ	0,05	-
Indeno[1,2,3-cd]pireno	< LQ	< LQ	0,05	0,05
Naftaleno	1,3	< LQ	0,05	70
Fenantreno	< LQ	< LQ	0,05	5
Pireno	< LQ	< LQ	0,05	-

Amostragem 19/10/05; análise 29/10/05.

LQ - Limite de Quantificação:

Método extração USEPA 3510 - Partição Líquido-líquido. Análise EPA 8270C - GC-MS.

1. No Estado do Rio de Janeiro o órgão ambiental adota os valores estabelecidos pela Lista Holandesa para intervenção.

Laudos Analíticos em Anexo III.

A Figura 37 sintetiza as concentrações dos contaminantes analisados na água subterrânea. Apenas a UADI está contaminada (PM5 com fase livre de óleo diesel). O sentido preferencial do fluxo tanto da fase livre quanto da fase dissolvida é aproximadamente de sul para norte. Este sentido é corroborado pelas concentrações abaixo do limite de detecção dos contaminantes nos PM's 4 e 6.

Nos demais poços de monitoramento as concentrações de BTEX's e PAH's estão inferiores ao valor máximo permitido no estado do Rio de Janeiro.



Figura 37: Síntese das concentrações de hidrocarbonetos na água subterrânea.

6.3 - Os postos de combustíveis do município de Seropédica-RJ

No município de Seropédica-RJ foram identificados 10 postos de combustíveis em operação e 1 em processo de desativação. Desse total, 9 são postos revendedores (5 às margens da BR-465 e 4 na BR-116) e 2 postos de abastecimento nas respectivas propriedades: UFRuralRJ e outro em uma empresa de transporte urbano.

No campo constatou-se que 1 posto revendedor e ambos de abastecimento não constavam no cadastro da ANP (2005) de onde foi feito o levantamento inicial (diferença de aproximadamente 27%). A Tabela 35 apresenta estes estabelecimentos, as coordenadas e os produtos manipulados.

Apesar do mapa de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Piranema de Monsorens *et al.* (2003) utilizado na análise não recobrir totalmente a área do município de Seropédica, todos os postos estão localizados nas áreas mapeadas por estes autores, exceto o posto Rei da Dutra (desativado). No cotejo de campo foi observado que este se encontra sobre solo residual e foi considerado como integrante do Sistema Aquífero Fraturado.

Geograficamente, os estabelecimentos distribuem aproximadamente de forma igual sobre os sistemas de aquífero do município. Cinco postos estão nas áreas definidas como Sistema Aquífero Piranema e seis nas áreas do Sistema Aquífero Fraturado.

Tabela 35: Inventário dos postos de combustíveis do município de Seropédica - RJ.

Posto nome fantasia		Tipo		Coordenadas UTM ⁽¹⁾		Combustíveis ⁽²⁾				ANP ⁽³⁾	Ano ⁽⁴⁾	L.A. ⁽⁵⁾
		R	A	LON (m)	LAT (m)	G	A	D	GNV			
1	Piranema	X		639724	7477464	X	X	X	X	Sim	2003	Não
2	Rural Seropédica	X		638654	7478716	X	X	X	X	Sim	2000	Não
3	Castilho	X		635844	7481618	X	X	X	-	Não	?	Não
4	UFRuralRJ		X	634200	7480952	X	X	X	-	Não	197?	Não
5	Chefia	X		633239	7484203	X	X	X	-	Sim	2001	Não
6	Garagem Viação*		X	632934	7484688	?	?	X	-	Não	?	Não
7	Primavera	X		630838	7487017	X	X	X	-	Sim	2001	Não
8	Big Dutra	X		629815	7488223	X	X	X	-	Sim	2003	Não
9	Novo Pedágio	X		634823	7486948	X	X	X	-	Sim	2002	Não
10	Tigre da Dutra	X		638011	7486254	X	X	X	-	Sim	2001	Não
11	Rei da Dutra	X		627661	7489091	Posto desativado				Sim	2000	Não

Tipo (R - Revendedor; A - Abastecimento); 1,2. Levantamento de campo; 3. Registro na ANP (2005).

4. Ano do registro na Agência Nacional do Petróleo ANP (2005), 5. Licença Ambiental (Licença de Operação) (FEEMA, 2006 comunicação pessoal); * Coordenadas obtidas no lado externo (rua).

6.3.1 - Vulnerabilidade da área do posto da UFRuralRJ

Para o cálculo da vulnerabilidade do aquífero na área do posto de abastecimento da UFRuralRJ com o método GOD, foram considerados os seguintes índices expressos na Tabela 36.

O índice encontrado 0,144 corresponde à vulnerabilidade natural baixa e é influenciado pelo aspecto semiconfinado do aquífero local e pela cobertura de solo residual (areno-argiloso/argilo-arenoso e argiloso) de baixa condutividade hidráulica ($k = 4,18 \cdot 10^{-5}$ cm/s) na zona não-saturada que aumenta a inacessibilidade hidráulica e a capacidade de atenuação de contaminantes.

Tabela 36: Índices adotados para cálculo da vulnerabilidade com o método GOD.

Parâmetro			Descrição	Índice
G	<i>Groundwater</i>	Ocorrência e tipo de aquífero	Semiconfinado	0,4
O	<i>Overall</i>	Litologia da zona vadosa	Solo residual	0,4
D	<i>Depth</i>	Profundidade no nível freático	Média (out 05 - mar 06) 4,26 m	0,9
Vulnerabilidade = G x O x D				0,144

Em relação aos demais postos de combustíveis do município, apenas o posto 10 encontra-se instalado em área de vulnerabilidade baixa no Sistema Aquífero Piranema. O restante distribui-se da seguinte maneira: vulnerabilidade moderada: posto 5; vulnerabilidade alta: postos 1 e 2; vulnerabilidade extrema: posto 7.

Conforme consulta no órgão ambiental do Rio de Janeiro, até o mês de maio de 2006 nenhum posto de combustível do município havia obtido licença ambiental (licença de operação), portanto sugere-se que estes estabelecimentos operam com equipamentos e sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis defasados em relação às exigências técnicas e operacionais da FEEMA e do CONAMA.

Baseado nestas possíveis condições das instalações e o fato dos produtos manipulados serem armazenados em tanques subterrâneos foi admitido que a carga contaminante potencial

gerada pelos postos de combustíveis no município é elevada (já que não foi realizado o levantamento do passivo ambiental de cada estabelecimento).

A partir da interação da vulnerabilidade natural e carga contaminante potencial (Tabela 37) foi possível estabelecer o risco de contaminação das águas subterrâneas de cada estabelecimento (Figura 38).

Tabela 37: Risco de contaminação das águas subterrâneas pelos postos de combustíveis no município de Seropédica-RJ.

Posto	Sistema Aquífero	Carga contaminante potencial	Vulnerabilidade local do aquífero	Risco de contaminação das águas subterrâneas pelo posto
1	Piranema	Elevada	Alta	Alto
2	Piranema	Elevada	Alta	Alto
3	Fraturado	Elevada	Não avaliado	-
4	Fraturado	Elevada	Baixo	Moderado
5	Piranema	Elevada	Moderada	Alto
6	Fraturado	Elevada	Não avaliado	-
7	Piranema	Elevada	Extrema	Extremo
8	Fraturado	Elevada	Não avaliado	-
9	Piranema	Elevada	Baixa	Moderado
10	Fraturado	Elevada	Não avaliado	-

Dentre os postos de combustíveis que representam maiores risco de contaminação das águas subterrâneas destacam-se: posto 7 (risco extremo) e postos 1, 2, 5 (alto risco). Todos estes estabelecimentos se localizam em áreas com vulnerabilidade alta ou superior.

Considerando-se apenas os estabelecimentos registrados na ANP, observa-se que todos entraram em operação (definido em termos legais após o registro) a partir do ano 2000, portanto os sistemas de armazenamento de combustíveis estão com aproximadamente a metade da vida útil sugerida por alguns autores (15 anos); entretanto conforme consulta informal com moradores

locais, alguns estabelecimentos entraram em operação previamente a data que consta no cadastro de ANP (2005).

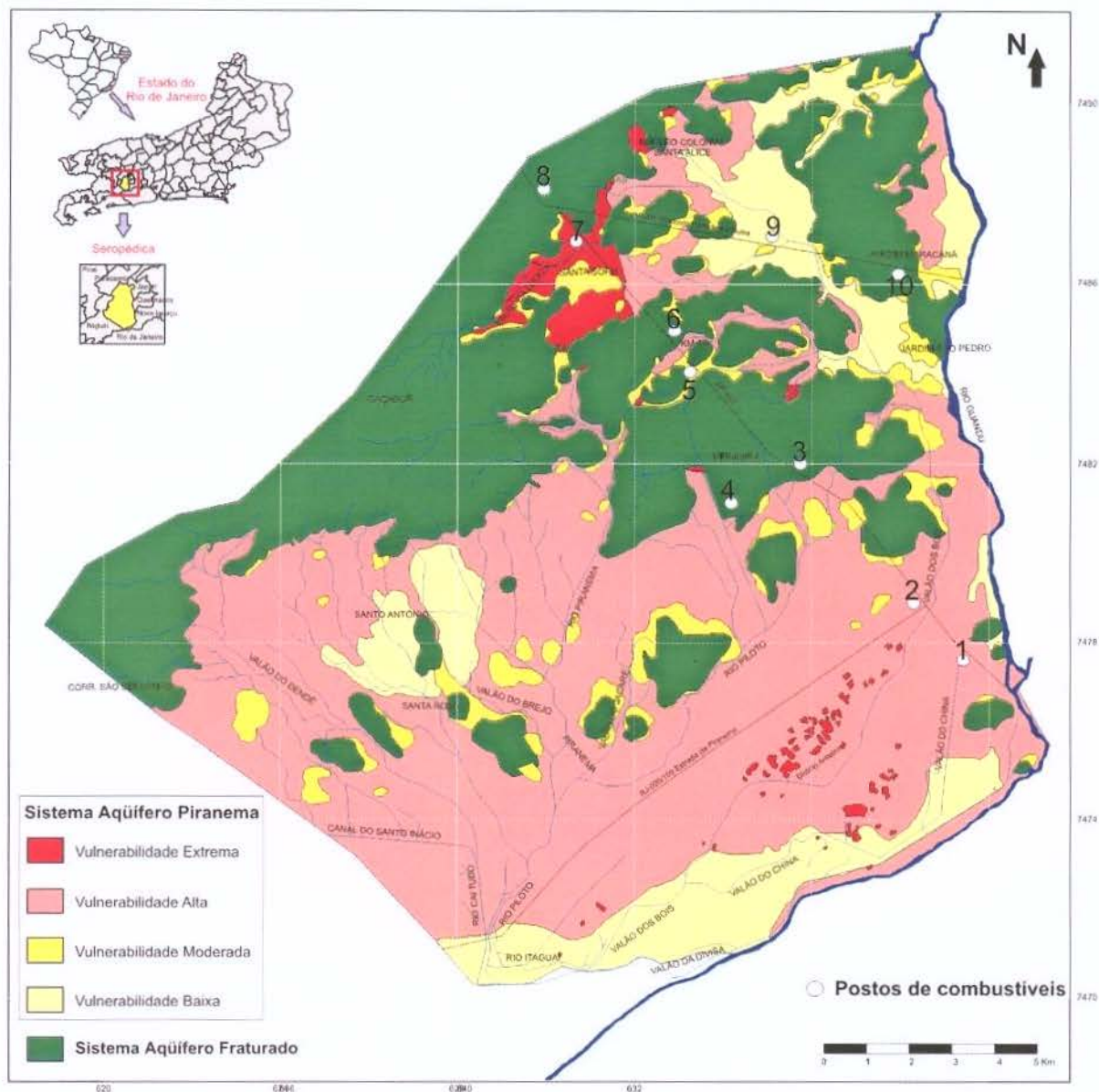
A conjugação de outras variáveis físicas de cada estabelecimento como: movimentação mensal de combustíveis, classificação do entorno conforme ABNT, aspectos construtivos, características operacionais, equipamentos de proteção e detecção de vazamentos, potencial de corrosão do solo permitiria um refinamento da provável carga contaminante que atingiria o solo e neste caso não só apenas estes estabelecimentos que se localizam nas áreas mais vulneráveis seriam os responsáveis pelos maiores riscos de contaminação dos aquíferos ou vice-versa.

A área do posto de abastecimento UFRuralRJ (posto nº. 4) possui índice moderado de risco de contaminação (“probabilidade das águas subterrâneas serem contaminadas com concentrações acima dos padrões recomendados”, Foster e Hirata, 1993) das águas subterrâneas.

No caso deste posto apenas a detecção de fase livre no PM05 é condição para que a área seja declarada contaminada. Neste caso, de acordo com o método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas adotado (figura 17), é necessário o mapeamento da extensão da área contaminada e iniciar a 2ª. Etapa do Processo de Recuperação de Áreas Contaminadas (Avaliação de Risco). Somente após a conclusão desta será possível quantificar os riscos a saúde humana e a outros bens a proteger na área.

Esta avaliação preliminar do risco de contaminação das águas subterrâneas é uma ferramenta que permite aos órgãos responsáveis pelo Gerenciamento Ambiental estabelecer critérios de priorização da necessidade de Investigação Confirmatória nos postos de combustíveis e em outras atividades potencialmente contaminadoras do município.

Mapa de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Piranema



Risco de contaminação das águas subterrâneas em decorrência dos postos de combustíveis:

Posto n.º	Risco de Contaminação
1	Alto
2	Alto
3	Não avaliado
4	Moderado
5	Alto

Posto n.º	Risco de Contaminação
6	Não avaliado
7	Extremo
8	Não avaliado
9	Moderado
10	Não avaliado

Figura 38: Distribuição dos postos de combustíveis no município de Seropédica-RJ.
Fonte Mapa Vulnerabilidade: Modificado de Monsorens *et al.* (2003).

7.0 - CONCLUSÕES

Quanto ao posto de abastecimento da UFRuralRJ:

Baseado apenas no diagnóstico de 5 cm de óleo diesel em fase livre no PM5 é possível afirmar que a área da unidade de abastecimento de óleo diesel (UADI) está contaminada e o sistema de armazenamento subterrâneo deste produto não está estanque, sendo esta a fonte primária de contaminantes para subsuperfície.

O posto se encontra instalado em uma colina residual sobre o manto de alteração de rocha gnáissica. Apesar do aquífero associado ser intergranular, no município de Seropédica-RJ, Monsorens *et al.* (2003) consideram os locais onde afloram solos residuais como integrante do Sistema Aquífero Fraturado tendo este tipo de solo sobreposto a rochas fraturadas.

Na UADI a velocidade média do fluxo subterrâneo é 3 cm/dia e o sentido preferencial do fluxo subterrâneo observado entre janeiro e fevereiro de 2006 é 26°. A velocidade e a espessura real estimada para a fase livre de diesel é respectivamente 1 cm/dia e 1,03 cm.

Na unidade de abastecimento de gasolina e álcool (UAGA) a velocidade média do fluxo subterrâneo é 4 cm/dia e o sentido preferencial do fluxo subterrâneo observado no mesmo período é aproximadamente 273°.

Em relação ao diagnóstico dos compostos BTEX's nos poços desta unidade (PM1, PM2 e PM3), todas as concentrações encontradas não excederam o limite de quantificação empregado (1 µg/L) e estas concentrações correspondem a valores permitidos pelo órgão ambiental do estado do Rio de Janeiro na água subterrânea.

As manchas oleosas opacas (fase residual) detectadas na zona não-saturada durante a perfuração do PM2, (poço a montante do tanque de gasolina desativado), estão supostamente associadas ao episódio de perda de estanqueidade que levou ao desativamento deste tanque.

Esta fase residual, pode ter entrado em contato com a água subterrânea durante a ascensão do nível d'água pós perfuração, e corresponder a fonte dos compostos PAH's diagnosticados (2 metilnaftaleno e naftaleno). Esta concentração de PAH's está 54 vezes inferior ao valor máximo permitido na água subterrânea. Os compostos BTEX's podem terem sido degradados desta fase.

Com a técnica adotada para a quantificação da concentração de vapores no solo, (varredura inicial de VOC) utilizando-se sondagens com 1 metro de profundidade, não foi possível a obtenção de anomalias associadas à presença de vapores de combustíveis no solo.

Conforme preconizado por USEPA (1997b) esta técnica não é eficaz para solos argilosos (característica do solo local) pelo fato destes apresentarem baixa permeabilidade e esta corresponde a variável geológica mais importante para a migração da fase vapor.

De acordo com o método de investigação adotado CETESB (1999), a etapa de Investigação Detalhada deve buscar a compreensão de variáveis do sítio que influenciam no transporte do contaminante (condutividade hidráulica, direção de fluxo etc.), tipo de contaminante, delimitação do volume contaminado (fases livre, dissolvida, residual e vapor) rotas de migração e receptores de risco.

Dentre estas variáveis, não foi possível a delimitação das plumas e dos volumes contaminados por limitações financeiras. Portanto, já que estas são as variáveis principais que esta etapa deve subsidiar, não é possível considerar que foi realizado uma Investigação Detalhada completa na área do posto de abastecimento.

Quanto aos possíveis receptores da contaminação das águas subterrâneas por via de ingestão (conforme sentido do fluxo subterrâneo), destacam-se 2 residências no raio de 100 m, entretanto estas não possuem poços de abastecimento e este risco é desprezado.

Em termos de exposição por via aérea de compostos voláteis provenientes do solo da área com fase livre (UADI), as propriedades físicas do solo na área contaminada restringem a migração vertical da fase vapor para a superfície e esta somente foi diagnóstica a partir de 4,5 m de profundidade.

Quanto aos demais postos de combustíveis do município de Seropédica - RJ:

O cadastro da ANP (2005) com postos de combustíveis do município diferenciou-se em aproximadamente 27% em relação ao número real de estabelecimentos identificados no campo (11). Esta diferença é em função de um posto revendedor e dois postos de abastecimento não constarem no cadastro da agência. Desde 2003, a ANP não faz o cadastramento dos postos de abastecimento.

Apesar de alguns estabelecimentos já terem iniciado o processo de licenciamento ambiental junto a FEEMA, nenhum posto possui licença de operação.

Do total de postos de combustíveis, 2 postos revendedores se localizam nas áreas com vulnerabilidade alta e 1 posto revendedor na área de vulnerabilidade extrema do Sistema Aquífero Piranema e estes estabelecimentos correspondem aos que apresentam risco respectivamente alto e extremo de contaminação das águas subterrâneas.

A característica mais arenosa dos sedimentos do sistema aquífero Piranema, sugere que a técnica de varredura inicial para a quantificação dos compostos voláteis no solo seja mais eficaz para os postos instalados neste local comparados aos postos localizados sobre solos residuais do sistema aquífero Fraturado.

8.0 - RECOMENDAÇÕES

Conforme demonstrado, o sistema de armazenamento subterrâneo de óleo diesel não está estanque, portanto para evitar a continuidade da contaminação do solo, da água subterrânea e consequentemente o desperdício deste combustível é necessário cessar essa fonte pontual.

Neste caso, tanto a resolução CONAMA 273, 2000 (art. 8º) quanto a FEEMA (FEEMA DZ-1841, 2002; item 10.3) recomendam que o tanque que apresentar vazamento deve ser removido após sua desgaseificação e limpeza e em casos de impossibilidade técnica de remoção, estes deverão ser desgaseificados, limpos, preenchidos com material inerte e lacrados.

O mesmo procedimento sugerido deve ser repetido para os tanques de gasolina e óleo diesel que atualmente se encontram abandonados em subsuperfície.

Com o propósito de resguardar possíveis receptores de risco por via de ingestão de água subterrânea, até que se seja mapeado à extensão e o volume de água subterrânea contaminada (fase livre e dissolvida) e avaliado o risco associado à saúde humana, não é recomendado a perfuração de poços para o consumo de água na área a jusante a unidade de abastecimento de diesel (compreendendo tanto a área do pátio do posto quanto às residências a leste).

Para o mapeamento da extensão das fases livre, dissolvida e residual a jusante da UADI (procedimento que encerrará a Investigação Detalhada segundo o Método de Gerenciamento de Áreas Contaminadas), e consequentemente o conhecimento da extensão e dos volumes dessas fases, é necessária a definição de uma malha de sondagens para a coleta de amostras de solo (BTEx's e PAH) além da instalação de mais poços de monitoramento incluindo poços multi-nível (para a definição da concentração dos contaminantes ao longo de um perfil vertical).

Nesta investigação, deve ser priorizado o mapeamento se a pluma de contaminantes conseguiu exceder os limites do pátio interno do posto.

Após delimitada a extensão da área contaminada por óleo diesel, a próxima etapa do método é avaliar o risco a saúde humana e aos outros bens a proteger.

Para essa avaliação, a agência ambiental do estado do Rio de Janeiro exige a utilização do método RBCA - *Risk-Based Corrective Action* ASTM E-1739-RBCA (FEEMA DZ-1841, 2002; item 11.2.5).

A partir da análise do risco, será possível o conhecimento da necessidade de remediação (e metas) do sítio além de quantificar o risco a saúde humana, permitindo a reavaliação da área

onde será restringida a perfuração de poços para o consumo da água subterrânea até que os níveis dos compostos orgânicos retornem aos níveis de potabilidade aceitos pelo Ministério da Saúde.

Na UAGA recomenda-se que o sistema de armazenamento subterrâneo de álcool seja examinado quanto a sua estanqueidade já que a quantificação deste contaminante no solo e água subterrânea não foi realizada nesta investigação.

Este conjunto de atividades pode ser conduzido através de trabalhos acadêmicos e trocas de experiências entre instituições de pesquisa que conseqüentemente tornará a investigação de baixo custo e principalmente enriquecerá o nível de conhecimento das variáveis hidrogeológicas e hidrogeoquímicas que influenciam no transporte e degradação dos combustíveis neste local que se tornaria um campo de pesquisa baseado em um caso real.

Para evitar possíveis danos ambientais é recomendada a adequação dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis e itens construtivos com os preconizados pelo CONAMA, ABNT e FEEMA, além do requerimento da licença ambiental.

No processo de licenciamento ambiental, é exigido o levantamento do passivo ambiental, documento este que pode ser apresentado a partir da complementação dos itens realizados com as exigências técnicas da FEEMA.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solos. Orientações para sua execução no campo.** Coordenação Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Corrêa Filho. ABGE Boletim n.4. 3 ed. São Paulo, 1996. 34 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13784: Detecção de Vazamento em Postos de Serviço.** Rio de Janeiro, 2001.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13786: Posto de serviço. Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis.** Rio de Janeiro, 2001.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13895: Construção de poços de monitoramento e amostragem.** Rio de Janeiro. Junho 1997. 4 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Plano de ação - Sistema de alerta da qualidade da água para a bacia do Paraíba do Sul.** Superintendência de Fiscalização. Agosto, 2003, 39 p.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural.** Rio de Janeiro, 2003.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Consulta de postos de combustíveis.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp>>. Acesso em: 30 agosto 2005.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Consulta de postos de combustíveis.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp>>. Acesso em: 22 março 2006.

API, American Petroleum Institute. **Answers to Frequently Questions About Managing Risk at LNAPL Sites.** API Soil and Groundwater Research Bulletin Number 18. May, 2003.

API, American Petroleum Institute. **Evaluating hydrocarbon removal from source zones and its effect on dissolved plume longevity and magnitude.** Regulatory Analysis and Scientific Affairs Department. Publication number 4715. September 2002. 247 p.

BARBOSA, Cátia Fernandes. **Hidrogéoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica - RJ.** Dissertação (mestrado). UNICAMP Universidade Estadual de Campinas, Instituto Geociências. Campinas - SP, 2005. 71 p.

BERBERT, Marcelo Cavalcante. **A mineração de areia no distrito areeiro de Itaguaí-Seropédica/RJ: geologia dos depósitos e caracterização das atividades de lavra e dos impactos ambientais.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências Departamento de Geologia Programa de Pós-Graduação em Geologia Setor de Geologia Regional e Econômica, Rio de Janeiro - RJ, 2003. 132 p.

BOULDIND, Russel J.; GINN, Jon S. **Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and**

Groundwater Contamination Assessment, Prevention and Remediation. Second Edition - Lewis Publishers. 2003.

BRANDÃO, Rosimar Lima. **Contaminação de poços rasos no Bairro Brisamar, Itaguaí-RJ, por derramamento de gasolina: Concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população.** Tese (doutorado). Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro - RJ, 2002. 164 p.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo. Portaria ANP nº. 329 de 27 de dezembro de 2003. **Suspende os efeitos da Portaria DNC nº. 14 de 17 de abril de 1996.** Diário Oficial da União. Brasília - DF. 29 de dezembro de 2003.

BRASIL. CIMA, Conselho Interministerial do Açúcar e Alcool. Resolução CIMA nº. 35 de 22 de fevereiro de 2006. **Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina.** Diário Oficial da União, Brasília - DF. 23 de fevereiro de 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Combustíveis. Portaria DNC nº. 14 de 17 de abril de 1996. **Autoriza pessoas físicas e jurídicas a disporem de instalações de armazenamento e abastecimento de combustíveis líquidos ou gasosos para o uso privativo, exceto querosene de aviação.** Diário Oficial da União. Brasília - DF. 19 abril de 1996.

BRASIL. Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília - DF, 02 de setembro de 1981.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. **Estabelece as normas de potabilidade da água destinada ao consumo humano.** Diário Oficial da União. Brasília - DF. 26 de março de 2004. 15p.

BURNS, Robert T.; WILLS, James B. **Assessing Your Petroleum Product Storage Agricultural Engineering.** The University of Tennessee Agricultural Extension Service SP484G. The University of Tennessee Institute of Agriculture. 1996. 6 p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química e física de solos do IAC.** IAC Instituto Agrônomo de Campinas (Boletim técnico, 106), 1986. 94 p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** CETESB, GTZ., 2.ed. São Paulo. 1999, 389 p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para solos e água Subterrâneas no Estado de São Paulo.** CETESB, São Paulo, 2001, 232 p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Procedimento para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de**

Combustíveis. 2003. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/licenciamento/postos/roteiros_procedimentos.asp>. Acesso em: 20 de maio de 2005.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Técnicos da CETESB acompanham trabalhos emergenciais em posto na Av. Sapopemba.** In: CETESB, 2005a. Clipping notícias. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/noticias/2005/03/30_posto.asp>. Acesso em: 01 de maio 2006.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de áreas contaminadas no estado de São Paulo. Novembro de 2005.** Disponível em < http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp>. Acesso em: 03 de janeiro de 2006. 2005b.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **CADEQ - Cadastro de Emergências Químicas (1978-2004).** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatistica/revenda.asp>. Acesso em: 13 de junho de 2006. 2005c

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Prevenção e Atendimento a vazamentos em postos e sistemas retalhistas de combustíveis.** CETESB, Diretoria de desenvolvimento e transferência de tecnologia. Setor de treinamento. São Paulo, 2005d, 79 p.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2005 em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.** CETESB, Decisão de Diretoria nº 195-2005-E. São Paulo, 23 nov 2005e.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC).** CETESB, Anexo IV (a que se refere o artigo 1º, inciso IV, da Decisão de Diretoria nº 010/2006/C). Aprovado em 26.01.2006.

CONAMA 237, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 237 de 19 de dezembro 1997. **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.** Diário Oficial da União, Brasília - DF, 22 de dezembro de 1997.

CONAMA 273, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 273 de 29 de novembro de 2000. **Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.** Diário Oficial da União, Brasília - DF, 08 de janeiro de 2001.

COPAM, Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa Nº 60 de 28 de novembro de 2002. **Revoga e altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 50 de 28 de novembro de 2001 e dá outras providencias.** Diário do Executivo - "Minas Gerais" 04 de dezembro de 2002.

CORSEUIL, Henry Xavier; SANTOS Rui Ferreira dos; FERNANDES Marilda. **Contaminação de aquíferos por derramamentos de gasolina e álcool.** In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Projeto de aterro de resíduos e saneamento de áreas degradadas. Setembro 1996. p. 6-9.

CORSEUIL, Henry Xavier; KULKAMP, Marivania S. **Simultaneous spills of diesel and ethanol - a controlled release experiment.** Paper H-11, in: V.S. Magar and M.E. Kelley (Eds.), In-Situ and On-Site Bioremediation 2003. Proceedings of the Seventh International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium. Orlando, FL. June 2003.

CORSEUIL, Henry Xavier; MARINS, Marcus Dal Molin. **Efeitos causados pela mistura de gasolina e álcool em contaminações de águas subterrâneas.** Boletim Técnico PETROBRAS, Rio de Janeiro, 41 (3/4).jul/dez.1998. p. 133-138.

CORSEUIL, Henry Xavier; MONTENEGRO, Martha de Almeida Prado; MARINS, Marcus Dal Molin. **Biorremediação passiva de águas subterrâneas contaminadas com derramamentos de gasolina.** In: 11º Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Rio de Janeiro - RJ. Setembro 1996. p. 1442-1447.

DAY, J. M.; REINKE, F. R; THOMSON, J. A. M. **Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Underground Storage Tanks.** In: Environmental Forensics v.2. 2001, p. 21-28.

DOWNING, R. A. **Groundwater - Our Hidden Asset.** British Geological Survey Publication. 1998. 61 p.

DUARTE, Kátia da Silva. **Avaliação do risco relacionado à contaminação dos solos por hidrocarbonetos no Distrito Federal.** Tese (doutorado). UNB - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília - DF, 2003. 259 p.

FEEMA DZ-1841, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro. **Diretriz para o licenciamento ambiental e para a autorização do encerramento das atividades de postos de serviço que disponham de sistemas de condicionamento ou armazenamento de combustíveis, graxas, lubrificantes e seus respectivos resíduos.** Aprovado pela deliberação CECA 4.138, de 12 março de 2002. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 01 abril de 2002.

FEITOSA, Fernando A.C.; MANOEL FILHO João. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações.** Fortaleza - CE: CPRM Serviço Geológico do Brasil. 1997. 412 p.

FERNANDES, Marilda; CORSEUIL Henry Xavier. **Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina - Efeito Cossolvência.** In: 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA), Gramado - RS, Junho 1996. Anais do 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia e Ambiental. VI-26, 1996. p. 1-8.

FETTER, Charles Willard. **Contaminant Hydrogeology**. New York: Macmilian Publishing Company. 1992. 458 p.

FETTER, Charles Willard. **Applied Hydrogeology**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 4 th edition. 2001. 598 p.

FINOTTI, Alexandra Rodrigues. **Efeitos da transferência de massa na relação matemática entre espessuras real e aparente em fase livre de gasolina com etanol nas contaminações subterrâneas**. Tese (doutorado). UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre - RS, 2003. 190 p.

FONSECA, Márcio F. da Silva; ROCHA, Anderson Barcellos da; VALENTIM, Raul Fontes; OSVALDT, Hugo Schulz; SOUZA, Leandro Francisco de; SENDRA, Adriano; ROCHA ROBERTO, Silas da; OLIVEIRA, Valdeci Felix de; VIITANIEMI, Tauno; MELLO, Leônidas Castro. **Geoeletrorresistividade e Água Subterrânea no Campus da UFRuralRJ**. In: Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Anais da Jornada de Iniciação Científica da Universidade federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica - RJ. 2002.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo. **Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas. Uma metodologia baseada em dados existentes**. Instituto Geológico, Boletim n.10. São Paulo 1993. 92 p.

FREEZE, R. Allan.; CHERRY, John A. **Groundwater**. Nova Jersey: Prentice Hall. 1979. 604 p.

GOES, Maria Hilde Barros. **Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí (RJ)**. Tese (doutorado). UNESP - Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geografia. Rio Claro - SP, 1994. 518 p.

GOES, Maria Hilde Barros; XAVIER-DA-SILVA, Jorge. **Atlas Digital do Campus da UFRuralRJ - 1998**. Laboratório de Geoprocessamento Aplicado. UFRuralRJ/LGA/DG/IA.1998.

GOES, Maria Hilde Barros; XAVIER-DA-SILVA, Jorge. **Sustentabilidade da Extração de Areia da Formação Piranema na Bacia do Rio Guandu**. In: Seminário Bacia Hidrográfica do Rio Guandu Problemas e Soluções. Seropédica RJ 2002. Anais do Seminário Bacia Hidrográfica do Rio Guandu Problemas e Soluções CDROM. 2002.

GUIGUER, Nilson. **Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo causadas por vazamentos em postos de abastecimento**. Waterloo Hydrogeologic. Consultoria Ambiental, Software e Treinamento. 2000. 356 p.

HARTMAN, David. **Oh Henry! (a constant)**. LUSTLINE bulletin number 29. New England Interstate Water Pollution Control Commission Publication. June 1998, p. 17-18.

HIRATA, Ricardo César Aoki. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da**

qualidade das águas subterrâneas. Estudos de casos no estado de São Paulo. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. São Paulo - SP, 1994. 195 p.

HOOD, C.F.; SMAJSTRIA, A. G.; ZAZUETA, F.S. **Measuring Water Levels in Wells: An Inexpensive Electric Water Level Indicator.** University of Florida. Florida Cooperative Extension Service. Fact Sheet EES-62. November 1991. 7 p.

HUTSON, S. S.; BARBER, N. L.; KENNY, J. F.; LINSEY, K. S.; LUMIA, D. S.; MAUPIN, M.A. **Estimated use of water in the United States in 2000.** USGS - United States Geological Survey. Circular 1268. 2004. 46 p.

IAP, Instituto Ambiental do Paraná. **Licenciamento de Postos/e ou Sistemas Retalhistas de Combustíveis.** Paraná, 2004. 36p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento.** IBGE, Diretoria de Geociências Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro, 2004.

IDEM, Indiana Department of Environmental Management. **Leaking Underground Storage Tanks. Tanks you and your family.** Indiana, April 2000. 3 p.

IDNR, Iowa Department of Natural Resources. **Groundwater protection sheet Underground Storage Tanks.** Iowa, August 1996. 9 p.

IEMA, Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo. **Postos Revendedores, Postos de Abastecimento, Instalações de Sistemas Retalhistas e Postos Flutuantes de Combustíveis (Existentes) documentos necessários para requerimento de: Licença Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO).**

KAIPPER, Beatriz Inês Almeida. **Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados por óleo diesel.** Tese (doutorado). UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemática Curso de Pós-graduação em Química. Florianópolis - SC, 2003. 199 p.

LOUREIRO, Celso de Oliveira; OLIVEIRA, Leonardo Inácio de; OLIVEIRA, Osvaldo de. **Postos distribuidores de combustíveis e o problema ambiental em Belo Horizonte-MG.** In: XII. Congresso Brasileiro de Hidrogeologia, 2002. Anais XII Congresso Brasileiro de Hidrogeologia. Florianópolis-SC, 2002. p. 155.

MELO JUNIOR, Homero Reis de; COSTI, Ana Carolina Zoppas. **Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas por Hidrocarbonetos Provenientes de Posto de Abastecimento de Combustível na Vila Tupi, Porto Velho - RO.** In XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas 2004. Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá - MS. 2004. 19 p.

MILLER, Alexandre Davide. **Remediação de fase livre de gasolina por bombeamento duplo: estudo de caso.** Dissertação (mestrado). USP - Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. São Paulo,

2001. 134 p.

MIRANDA, Alan Wanderley Albuquerque. **Caracterização Geológica e Estrutural das Rochas do Embasamento de Seropédica, RJ**. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Geociências. Fevereiro, 2003. 30p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Recursos Hídricos no Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, 1998. 33 p.

MONSORES, André Luiz Mussel.; NUMMER, Alexis Rosa; TUBBS, Décio; BARBOSA, Giselle Ramalho. **Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ**. Relatório de medida de compensação à implantação da termoeletrica Sociedade Fluminense de Energia LTDA. - ELETROBOLT. São Paulo - SP. 2003, 233 p.

MONTEIRO, Antônio José L.C.; SETZER Joana. **Licenciamento dos Postos Revendedores de Derivados de Petróleo e de Outros Combustíveis para Fins Automotivos**. In: Associação Brasileira dos Advogados Ambientalistas. Disponível em: <<http://www.abaa.org.br>>. Acesso em: 08 de agosto 2006. São Paulo - SP. 2001.

MOREIRA, Ivanilson de Carvalho. **Análise Geo-Ambiental por Geoprocessamento Dirigida à Instalação de Usinas Termelétricas e Estudos sobre seus Principais Riscos e Impactos Ambientais**. Dissertação (mestrado em geologia). UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia – Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental. Rio de Janeiro - RJ, 2002. 381 f.

MORRISON, Robson D. **Critical Review of Environmental Forensic Techniques: Part I**. Environmental Forensics. p. 157-173, August 2000.

NEWELL, C. J.; CONNOR, J. A. **Characteristics of Dissolved Petroleum Hydrocarbon Plumes. Results from four studies**. API American Petroleum Institute Soil/Groundwater, Technical Task Force. 8 p, Dezembro, 1998.

NUMMER, Alexis Rosa; MIRANDA, Alan Wanderley Albuquerque; MONSORES, André Luiz Mussel; CASTRO, Diego Rodrigues Martins; TUBBS, Décio. **Análise Estrutural de fraturas e falhas aplicada ao Mapeamento Hidrogeológico em áreas do cristalino: estudo preliminar no Município de Seropédica, RJ**. In: XXXIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Anais...Niterói - RJ, 2005.

OLIVEIRA, Everton de. **Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo**. Dissertação (mestrado). USP Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 1992. 112 p.

OTA, United States Congress Office of Technology Assessment. **Protecting the Nation Groundwater from Contamination**. United States Congress. OTA-O-233, vol.1, out, 1984.

PENNER, Giovanni Chaves. **Estudos Laboratoriais da Contaminação do Solo por Gasolina com o Uso de Detector de Fotoionização**. São Carlos, 2000. 109p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POSTOINFO, Soluções Ambientais para Postos de Serviço. **Tragédia na cidade**. In: POSTOINFO, 2005. Disponível em: <<http://www.postoinfo.com.br/noticias.php?id=4>>. Acesso em: 01 maio 2006.

PUGET, A. J. F.; NUNES, H. H. R. **Proposition on consonance of the mining with the environment for the extraction of sand in digs, in the municipal district of Itaguaí and-Seropédica, RJ, Brazil**. In: 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro - RJ, August 2000. Anais 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro - RJ, 2000.

REBOUCAS, Aldo da Cunha. **Água subterrânea no modelo do saneamento básico**. In: Estratégia para el Próximo Siglo Recursos Hídricos Subterráneos, 1996. ABAS MG Brasil/ UNESCO-PHI Artigo 7 ISBN: 92-9089-054-1, 1996.

REBOUCAS, Aldo da Cunha. **Groundwater in Brazil**. EPISODES, v. 11 n. 3, 1988, p. 209-214.

RICE, D. W.; GROSE R.D.; MICHAELSEN J. C.; DOOHER B.P.; MACQUEEN D.H.; CULLEN S.J.; KASTENBERG W. E.; EVERETT L.G., MARINO M.A. **California Leaking Underground Fuel Tank (LUFT). Historical Case Analysis**. California State Water Resources Control Board Underground Storage Tank Program. Environmental Protection Department, Nov. 16, 1995, 51 p.

RITCHEY, Joe. **Low Flow Purging and Sampling Ground Water. Evolution of Technology and Standards**. ASTM Standardization news. April 2002. p. 18-23.

SEMADS, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica da baía de Sepetiba: Programa de zoneamento econômico-ecológico do estado do Rio de Janeiro - ZEE/RJ**. CARTOGEO/NCE/UFRJ Rio de Janeiro - RJ. 64 p. 1996.

SILVA, José Ângelo Ferreira. **Sistematização e avaliação de técnicas de investigação aplicadas à caracterização e diagnóstico de área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro - SP. 2002. 138 p.

SIQUEIRA, Wagner; ANJOS, Gisele Corrêa dos; SOUZA, Eliene Lopes de. **Avaliação preliminar dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas por postos de combustíveis no município de Belém-PA**. In: XII Congresso Brasileiro de Hidrogeologia, 2002. Anais XII Congresso Brasileiro de Hidrogeologia. Florianópolis-SC, 2002.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Light Nonaqueous Phase Liquids**. United States Environmental Protection Agency. Groundwater Issue. USEPA/540/S-

95/500.1995. 28 p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **How to effectively Recover Free Product at Leaking Underground Storage Tanks Sites - A Guide for State Regulators.** United States Environmental Protection Agency. USEPA 510-R-96-001 September 1996a. 25p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Low Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures.** USEPA/540/S-95/504. April 1996b.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Straight Talk on Tanks. Leak Detection Methods for Petroleum Underground Storage Tanks and Piping.** USEPA 510-B-97-007, September 1997a, 32 p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Expedited Site Assessment Tools for Underground Storage Tank Sites. A Guide for Regulators.** USEPA 510-B-97-001. March, 1997b.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Operating and Maintaining Underground Storage tank Systems. Pratical Help and Checklists.** USEPA 510-B-00-008 August 2000. 51 p.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **National Water Quality Inventory Report 2000.** Office of Water Washington DC 20460. USEPA 841-R-02-001. August 2002a.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **National Drinking Water Standards.** Office of Water. USEPA 816-F-02-013, July 2002b.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Underground Storage Tanks Building on the past to protect the future.** Office of underground storage tanks. USEPA 510-R-04-001, March, 2004.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **FY 2005 Semi-Annual Mid-Year Activity Report.** Office of Solid Waste and Emergency Response. June 2005.

YOUNG, Thomas M.; BRIAN, Johnson; SMITH, Jim; WHITE, John. **Leak Source and Leak Detection Data Collection and Analysis.** State of California. State Water Resources Control Board. Advisory Panel on the Leak History of New and Upgraded UST Systems. Sacramento: State of California, 1999. 27 p.

ZEKTSER, Igor S.; EVERETT, Lorne G. **Groundwater Resources of the World and their Use.** UNESCO. IHP-VI, Series on Groundwater n. 6. 2004, 342 p.

40 CFR Part 280, subpart D/1996. PART 280 - **Technical Standards and Corrective Action Requeriments for Owners and Operators of Underground Storage Tanks (UST) - Subpart D - Release Detection.**

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: método da pipeta *



Local:
Solo:
Data de entrada no LFS: 16/janeiro/2006
Data da análise: 24-26/janeiro/2006
Analista: Regina Célia Batista Moretti

Empresa: FUNCAMP - Fundação de Desenvolvimento Unicamp
Interessado: Charles Santos Silva
Endereço: Campus Unicamp, S/N. Caixa Postal 6078 (Barão Geraldo)
13083-920 Campinas,SP

Amostra n.º	Identificação	Argila (%)	Silte (%)	Areia total (%)	Classificação textural
		< 0,002 mm	0,053 - 0,002 mm	2,00-0,053 mm	
39.486	PM01 - 0,5m	53,4	2,5	44,2	Argila
39.487	PM01 - 5,0m	32,5	27,0	40,5	Franco-argilosa

Amostra n.º	Identificação	Argila (g/kg)	Silte (g/kg)	Areia total (g/kg)	Classificação textural
		< 0,002 mm	0,053 - 0,002 mm	2,00-0,053 mm	
39.486	PM01 - 0,5m	534	25	442	Argila
39.487	PM01 - 5,0m	325	270	405	Franco-argilosa

* Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A. Valadares, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do IAC. Campinas, IAC, 1986. 94 p. (B. técnico, 106)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: método da pipeta *



Local: Fazenda Cachoeirinha

Solo:

Data de entrada no LFS: 9/novembro/2005

Data da análise: 16-18/novembro/2005

Analista: Regina Célia Batista Moretti

Interessado: Charles Santos Silva

Endereço: FUNCAMP - Fundação de Desenvolvimento Unicamp

Amostra n.º	Identificação	Argila (%)	Silte (%)	Areia total (%)	Classificação textural
		< 0,002 mm	0,053 - 0,002 mm	2,00-0,053 mm	
39.196	PM01 - 1m	43,3	3,6	53,1	Argiloarenosa
39.197	PM01 - 3m	40,1	22,5	37,3	Argila
39.198	PM01 - 6,5m	23,0	21,0	56,0	Franco-argiloarenosa

* Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A. Valadares, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do IAC. Campinas, IAC, 1986. 94 p. (B. técnico, 106)

ANEXO II

Memorial descritivo do cálculo da condutividade hidráulica na camada areno-argilosa amarela.

Data execução: 21/10/2005.

Ensaio de Infiltração

Fonte: ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solos. Orientações para sua execução no campo.** Coordenação Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Corrêa Filho. ABGE Boletim n.4. 3 ed. São Paulo, 1996. 34 p.

Ensaio de Infiltração	21/out/05	Fórmula:
Ensaio de Infiltração 1 1L 80 cm		$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{(C_u \cdot r)}$
tempo		Fonte: (ZANGAR, 1953 <i>apud</i> ABGE, 1996).
00:07:40		
00:09:59		
00:10:16		
00:10:54 *		Volume = 1L ($1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$)
00:10:56		Tempo = 10 min 54 s (654 s)
00:12:36		$Q = \text{Volume} / \text{Tempo}$
		$Q = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / 654 \text{ s}$ (vazão média)
* considerado para efeito do cálculo da		$h = 0,8 \text{ m}$ (profundidade da sondagem)
vazão média		$C_u = 45$ (deve ser consultado em ábaco da ABGE)
No ensaio de infiltração 2 (a 3 metros de		$r = 0,1016 \text{ m}$ (raio da sondagem)
distância do ensaio 1 considerar tempo		$K = 4,18 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (condutividade hidráulica)
médio = 00:11:23		

Poço	pH	C.E (mS/cm)	Temp (°C)	OD (mg/L)	Fase Livre
PM1	4,88	0,113	25,9	3,06	-
PM2	5,02	0,106	26,0	1,42	-
PM3	4,63	0,029	26,8	0,8	-

Amostragem 19/10/05

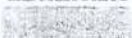
Poço	pH	C.E (mS/cm)	Temp (°C)	OD (mg/L)	Fase Livre
PM1	4,31	0,165	26,1	3,74	-
PM2	4,44	0,282	27,1	2,26	-
PM3	-	-	-	-	-
PM4	3,14	0,059	27,7	7,15	-
PM5	3,99	0,18	26,3	6,07	5
PM6	3,45	0,187	26,2	2,47	-

Amostragem 22/03/06

Poço	pH	C.E (mS/cm)	Temp (°C)	OD (mg/L)	Fase Livre
PM1	5,41	0,249	26,4	2,06	-
PM2	5,38	0,285	27,8	0,7	-
PM3	4,93	0,124	27,1	0,24	-
PM4	3,37	0,63	27,9	5,92	-
PM5	-	-	-	-	-
PM6	3,27	0,170	26,0	3,47	-

Amostragem 12/04/06

ANEXO III: Parâmetros físico-químicos da água subterrânea

LABORATÓRIOS**TASQA****TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos
BTEX via GC**

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 13571/05

Cliente: PM01

Matriz: Líquida

Coletado/Transportado por: Cliente/Entregue TASQA

Datas

Coleta: 19/10/2005

Recebimento: 25/10/2005

Preparo: 26/10/2005

Análise Cromatográfica: 26/10/2005

Fator de Diluição: 1,00

Volume da Amostra (mL): 10,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 007	Limite de Quantificação
			µg/L
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	1,0
BTEX Total		< LQ	

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação		
[CAS]	Corrida Nº 007	
		%
4-Bromofluorbenzeno [460-00-4]		114

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

LABORATÓRIOS
TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607338000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

QC referente a análise da amostra 13571/05

Matriz: Líquida

Data da Extração: 26/10/2005

Data da Análise Cromatográfica: 26/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 001	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/L		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	30,6	77
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	30,9	77
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	35,7	89
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	<LQ	40,0	35,5	89
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	38,2	96
BTEX Total				170,8	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

 Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
 b) análise EPA 8260B - HRGC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DOCUMENTO.

Aprovado por:

 José Marcos Santana
 CRO 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 08/11/2005

Protocolo Nº 05138/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 26 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos BTEX via GC

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 13572/05

Cliente: PM02

Matriz:

Líquida

Coletado/Transportado por:

Cliente/Entregue TASQA

Datas

Coleta:

19/10/2005

Recebimento:

25/10/2005

Preparo:

26/10/2005

Análise Cromatográfica:

26/10/2005

Fator de Diluição:

1,00

Volume da Amostra (mL):

10,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida N° 008	Limite de Quantificação
			µg/L
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	1,0
BTEX Total		< LQ	

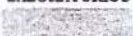
LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação			
	[CAS]	Corrida N° 008	
			%
4-Bromofluorbenzeno	[460-00-4]	96	

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.

LABORATÓRIOS**TASQA****TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos**
BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

QC referente a análise da amostra 13572/05

Matriz: Líquida

Data da Extração: 26/10/2005

Data da Análise Cromatográfica: 26/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 001	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/L		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	30,6	77
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	30,9	77
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	35,7	89
m+p-Xileno	[108-38-3]*/[106-42-3]	<LQ	40,0	35,5	89
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	38,2	96
BTEX Total				170,8	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
b) análise EPA 8260B - HRGC-MS**NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.**

Aprovado por:

José Marcos Santana
CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 08/11/2005

Protocolo Nº 05138/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS
TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
Resultados Analíticos
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Centro Científico

Fone / Fax:

Objetivo:

Projeto TASQA:

Projeto Cliente:

Identificação da amostra:

TASQA: 13572/05

Cliente: PM02

Matriz:

Líquida

Coletado/Transportado por:

Cliente/Entregue TASQA

Data:

Coleta:

19/10/2005

Recebimento:

25/10/2005

Preparo:

26/10/2005

Análise Cromatográfica:

29/10/2005

Fator de Concentração:

1000,00

Volume da Amostra (mL):

1000,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 056	Limite de Quantificação
			µg/L
2-Metilnaftaleno	[91-57-6]	0,8	0,05
Acenafteno	[83-32-9]	< LQ	0,05
Acenaftileno	[208-96-8]	< LQ	0,05
Antraceno	[120-12-7]	< LQ	0,05
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	< LQ	0,05
Benzo[a]pireno	[50-32-8]	< LQ	0,05
Benzo[b]fluoranteno	[205-99-2][207-08-9]	< LQ	0,05
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	< LQ	0,05
Criseno	[218-01-9]	< LQ	0,05
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	< LQ	0,05
Fluoranteno	[206-44-0]	< LQ	0,05
Fluoreno	[83-73-7]	< LQ	0,05
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	< LQ	0,05
Naftaleno	[91-20-3]	1,3	0,05
Fenantreno	[85-01-8]	< LQ	0,05
Pireno	[129-00-0]	< LQ	0,05

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação (%)		
Surrogate	[CAS]	Corrida Nº 056
2-Fluorifenil	[321-60-8]	93

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.

Protocolo Nº 05138/05

Página 1 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS



TASQA

TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp - s/nº

Contato: Charles Santina Silva

Fone / Fax:

Objetivo: -

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

QC referente a análise da amostra 13572/05

Matriz:

Líquida

Data da Extração:

26/10/2005

Data da Análise Cromatográfica:

29/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada	Recuperação
			µg/L		%
2-Metilnftaleno	[91-57-6]	<LQ	20,0	14,0	70
Acenftaleno	[83-32-9]	<LQ	20,0	19,6	98
Acenftileno	[208-96-8]	<LQ	20,0	21,0	105
Antraceno	[120-12-7]	<LQ	20,0	19,6	98
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[a]pireno	[50-32-6]	<LQ	20,0	21,4	107
Benzo[b]a[k]fluoranteno	[205-99-2][207-08-9]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	<LQ	20,0	20,2	101
Criseno	[218-01-9]	<LQ	20,0	17,0	85
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	<LQ	20,0	20,2	101
Fluoranteno	[206-44-0]	<LQ	20,0	19,6	98
Fluoreno	[83-73-7]	<LQ	20,0	12,8	64
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	<LQ	20,0	20,0	100
Naftaleno	[91-20-3]	<LQ	20,0	18,2	91
Fenantreno	[85-01-8]	<LQ	20,0	19,6	98
Pireno	[129-00-0]	<LQ	20,0	19,6	98

LQ = Limite de Quantificação (0,05µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

Método utilizado de: a) extração EPA 3510 - Partição Líquido-líquido
b) análise EPA 8270C - GC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.

Aprovado por:

José Marcos Santana
CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 08/11/2005

Protocolo Nº 05138/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS**TASQA****TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos**
BTEX via GC

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 13573/05

Cliente: PM03

Matriz:

Coletado/Transportado por:

Líquida

Cliente/Entregue TASQA

Datas:

Coleta: 19/10/2005

Recebimento: 25/10/2005

Preparo: 26/10/2005

Análise Cromatográfica: 26/10/2005

Fator de Diluição: 1,00

Volume da Amostra (mL): 10,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 009	Limite de Quantificação
		µg/L	
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[106-88-3]	< LQ	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	1,0
BTEX Total		< LQ	

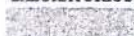
LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação		
[CAS]	Corrida Nº 009	
	%	
4-Bromofluorbenzeno [460-00-4]	119	

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz.

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 05138/05

Projeto Cliente: -

QC referente a análise da amostra 13573/05

Matriz: Líquida

Data da Extração: 26/10/2005

Data da Análise Cromatográfica: 26/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 001	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/L		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	30,6	77
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	30,9	77
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	35,7	89
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	<LQ	40,0	35,5	89
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	38,2	96
BTEX Total				170,8	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

 Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
 b) análise EPA 8260B - HRGC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

 José Marcos Santana
 CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 08/11/2005

Protocolo Nº 05138/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS**TASQA****TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos
BTEX via GC**

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 00217/06

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 00688/06

Cliente: PM 4 - 14:00hs

Matriz:

Coletado/Transportado por:

Datas

Coleta:

Recebimento:

Preparo:

Análise Cromatográfica:

Fator de Diluição:

Volume da Amostra (mL):

Líquida

Cliente/Entregue TASQA

11/01/2006

17/01/2006

17/01/2006

17/01/2006

1,00

10,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 004	Limite de Quantificação
			µg/L
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	4,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	4,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	4,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	4,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	4,0
BTEX Total		< LQ	

LQ = Limite de Quantificação

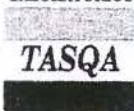
Surrogate - Recuperação			
	[CAS]	Corrida Nº 004	
			%
4-Bromofluorbenzeno	[460-00-4]		120

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.**ANEXO III: Resultados Analíticos**

LABORATÓRIOS



TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: - - - - -

Projeto Cliente: -

QC referente a análise da amostra 00688/06

Matriz: Líquida

Data da Extração: 17/01/2006

Data da Análise Cromatográfica: 17/01/2006

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 006	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 024	Recuperação
			µg/L		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	50,0	48,1	96
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	50,0	46,8	94
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	50,0	46,8	94
m+p-Xileno	[108-38-3]•[106-42-3]	<LQ	50,0	48,0	96
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	50,0	47,3	100
BTEX Total				237,0	

LQ = Limite de Quantificação (4µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

Métodos utilizados de:

a) extração EPA 5021 - Headspace

b) análise EPA 8260B - HRGC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DOCUMENTO.

Aprovado por:

José Marcos Santana

CRQ 04214660 - 4ª Região

santana@tasqa.com.br

Data: 25/01/2006

Protocolo Nº 00217/06

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 26 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
Resultados Analíticos
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato:

Fone / Fax:

Objetivo:

Projeto TASQA:

Projeto Cliente:

Identificação da amostra:

TASQA: 00688/06

Cliente: PM 4 - 14.00hs

Matriz:

Líquida

Coletado/Transportado por:

Cliente/Entregue TASQA

Data:

Coleta:

11/01/2006

Recebimento:

17/01/2006

Preparo:

18/01/2006

Análise Cromatográfica:

19/01/2006

Fator de Concentração:

1000,00

Volume da Amostra (mL):

1000,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 020	Limite de Quantificação
			µg/L
2-Metilnftaleno	[91-57-6]	< LQ	1,00
Acenftaleno	[83-32-9]	< LQ	1,00
Acenftileno	[208-96-8]	< LQ	1,00
Antraceno	[120-12-7]	< LQ	1,00
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	< LQ	1,00
Benzo[a]pireno	[50-32-8]	< LQ	1,00
Benzo[b]+[k]fluoranteno	[205-99-2][207-08-9]	< LQ	1,00
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	< LQ	1,00
Criseno	[218-01-9]	< LQ	1,00
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	< LQ	1,00
Fluoranteno	[206-44-0]	< LQ	1,00
Fluoreno	[83-73-7]	< LQ	1,00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	< LQ	1,00
Nftaleno	[91-20-3]	< LQ	1,00
Fenantreno	[85-01-8]	< LQ	1,00
Pireno	[129-00-0]	< LQ	1,00

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação (%)		
Surrogate	[CAS]	Corrida Nº 020
2-Fluoribfenil	[321-60-8]	95

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.

Protocolo Nº 00217/06

Página 1 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
Resultados Analíticos
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de PAH

Projeto TASQA: 00217/06

Projeto Cliente:

QC referente a ar

Matriz: Líquida

Data da Extração: 18/01/2006

Data da Análise Cromatográfica: 19/01/2006

Parâmetro	[CAS]	Branco	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada	Recuperação
			µg/L		%
2-Metilnaftaleno	[91-57-6]	<LQ	20,0	14,0	70
Acenafteno	[83-32-9]	<LQ	20,0	19,6	98
Acenaftileno	[208-96-8]	<LQ	20,0	21,0	105
Antraceno	[120-12-7]	<LQ	20,0	19,6	98
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[a]pireno	[50-32-6]	<LQ	20,0	21,4	107
Benzo[b]fluoranteno	[205-99-2][207-08-9]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	<LQ	20,0	20,2	101
Criseno	[218-01-9]	<LQ	20,0	17,0	85
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	<LQ	20,0	20,2	101
Fluoranteno	[206-44-0]	<LQ	20,0	19,6	98
Fluoreno	[83-73-7]	<LQ	20,0	12,8	64
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	<LQ	20,0	20,0	100
Naftaleno	[91-20-3]	<LQ	20,0	18,2	91
Fenantreno	[85-01-8]	<LQ	20,0	19,6	98
Pireno	[129-00-0]	<LQ	20,0	19,6	98

LQ = Limite de Quantificação (1,00 µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

 Método utilizado de: a) extração EPA 3510 - Partição Líquido-líquido
 b) análise EPA 8270C - GC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

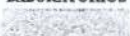
 José Marcos Santana
 CRO 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 25/01/2006

Protocolo Nº 00217/06

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 20 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX via GC

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 04855/05

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 12602/05

Cliente: PM5-5,50M

Matriz:

Coletado/Transportado por:

Sólida

Cliente/Entregue TASQA

Datas

Coleta:

28/09/2005

Recebimento:

28/09/2005

Preparo:

10/10/2005

Análise Cromatográfica:

11/10/2005

Fator de Diluição:

3,48

Massa da Amostra (g):

4,02

Porcentagem de Sólidos:

71

Parâmetro	[CAS]	Corrida N° 027	Limite de Quantificação
			µg/Kg
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[108-88-3]	49,2	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	56,9	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	64,7	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	87,3	1,0
BTEX Total		258,1	

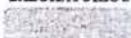
LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação			
	[CAS]	Corrida N° 027	
			%
4-Bromofluorbenzeno	[460-00-4]	86	

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DOCUMENTO.

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 04855/05

Projeto Cliente

QC referente a análise da amostra 12602/05

Matriz: Solida

Data da Extração 10/10/2005

Data da Análise Cromatográfica: 11/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 028	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/Kg		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	32,8	82
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	43,9	110
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	40,1	101
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	<LQ	40,0	40,7	102
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	43,8	110
BTEX Total				201,3	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/Kg)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

 Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
 b) análise EPA 8260B - HRGC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

 José Marcos Santana
 CRO 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 17/10/2005

Protocolo Nº 04855/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
Resultados Analíticos
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Centro Científico

Fone / Fax:

Objetivo:

Projeto TASQA:

Projeto Cliente:

Identificação da amostra:

TASQA: 12602/05

Cliente: PM5 - 5.50M

Matriz:

Sólida

Coletado/Transportado por:

Cliente/Entregue TASQA

Data:

Coleta:

28/09/2005

Recebimento:

28/09/2005

Preparo:

11/10/2005

Análise Cromatográfica:

14/10/2005

Fator de Concentração:

35,75

Massa da Amostra (g):

50,03

Porcentagem de Sólidos (%):

71

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 003	Limite de Quantificação
		uq/ka	
2-Metilnaftaleno	[91-57-6]	693,9	10,00
Acenafieno	[83-32-9]	< LQ	10,00
Acenafileno	[208-96-8]	< LQ	10,00
Antraceno	[120-12-7]	< LQ	10,00
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	< LQ	10,00
Benzo[a]pireno	[50-32-8]	< LQ	10,00
Benzo[b]+[k]fluoranteno	[205-99-2][207-08-9]	< LQ	10,00
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	< LQ	10,00
Criseno	[218-01-9]	< LQ	10,00
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	< LQ	10,00
Fluoranteno	[206-44-0]	< LQ	10,00
Fluoreno	[83-73-7]	< LQ	10,00
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	< LQ	10,00
Naftaleno	[91-20-3]	217,3	10,00
Fenantreno	[85-01-8]	< LQ	10,00
Pireno	[129-00-0]	< LQ	10,00

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação (%)		
Surrogate	[CAS]	Corrida Nº 003
2-Fluorifenil	[321-60-8]	99

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada.

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz.

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS.

Protocolo Nº 04855/05

Página 1 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
Resultados Analíticos
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's) via GC-MS - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de PAH

Projeto TASQA: 04855/05

Projeto Cliente:

QC referente a ar

Matriz: Sólida

Data da Extração: 11/10/2005

Data da Análise Cromatográfica: 14/10/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada	Recuperação
			µg/kg		%
2-Metilnftaleno	[91-57-6]	<LQ	20,0	14,0	70
Acenftaleno	[83-32-9]	<LQ	20,0	19,6	98
Acenftileno	[208-96-8]	<LQ	20,0	21,0	105
Antraceno	[120-12-7]	<LQ	20,0	19,6	98
Benzo[a]antraceno	[56-55-3]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[a]pireno	[50-32-8]	<LQ	20,0	21,4	107
Benzo[b]+[k]fluoranteno	[205-99-2]/[207-08-9]	<LQ	20,0	19,8	99
Benzo[g,h,i]perileno	[191-24-2]	<LQ	20,0	20,2	101
Criseno	[218-01-9]	<LQ	20,0	17,0	85
Dibenzo[a,h]antraceno	[53-70-3]	<LQ	20,0	20,2	101
Fluoranteno	[206-44-0]	<LQ	20,0	19,6	98
Fluoreno	[83-73-7]	<LQ	20,0	12,8	64
Indeno[1,2,3-cd]pireno	[193-39-5]	<LQ	20,0	20,0	100
Nftaleno	[91-20-3]	<LQ	20,0	18,2	91
Fenantreno	[85-01-8]	<LQ	20,0	19,6	98
Pireno	[129-00-0]	<LQ	20,0	19,6	98

LQ = Limite de Quantificação (10,00µg/kg)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

 Método utilizado de: a) extração EPA 3550 - Extração por Ultrassom
 b) análise EPA 8270C - GC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DOCUMENTO.

Aprovado por:

 José Marcos Santana
 CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 17/10/2005

Protocolo Nº 04855/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS

TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 26 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos BTEX via GC

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 00217/06

Projeto Cliente: -

Identificação da amostra:

TASQA: 00689/06

Cliente: PM 6 - 14:30hs

Matriz: Líquida

Coletado/Transportado por: Cliente/Entregue TASQA

Datas

Coleta: 11/01/2006

Recebimento: 17/01/2006

Preparo: 17/01/2006

Análise Cromatográfica: 17/01/2006

Fator de Diluição: 1,00

Volume da Amostra (mL): 10,00

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 005	Limite de Quantificação
			µg/L
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	4,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	4,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	4,0
m+p-Xileno	[108-38-3]/[106-42-3]	< LQ	4,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	4,0
BTEX Total		< LQ	

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação		
[CAS]	Corrida Nº 005	
		%
4-Bromofluorbenzeno [460-00-4]		86

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

LABORATÓRIOS

TASQA**TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos**
BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA UNICAMP - FUNCAMP

CNPJ / CPF: 49607336000106

Endereço: Campus Unicamp, s/nº

Contato: Charles Santos Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 00217/06

Projeto Cliente:

QC referente a análise da amostra 00689/06

Matriz: Líquida

Data da Extração: 17/01/2006

Data da Análise Cromatográfica: 17/01/2006

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 006	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 024	Recuperação
			µg/L		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	50,0	48,1	96
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	50,0	46,8	94
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	50,0	46,8	94
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	<LQ	50,0	48,0	96
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	50,0	47,3	100
BTEX Total				237,0	

LQ = Limite de Quantificação (4µg/L)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz.

Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
b) análise EPA 8260B - HRGC-MS

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

José Marcos Santana
CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 25/01/2006

Protocolo Nº 00217/06

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS
TASQA
TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>
**Resultados Analíticos
BTEX via GC**

Cliente: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

CNPJ / CPF: 46068425000133

Endereço: Rua Cândido Portinari, 65

Contato: Charles S. Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 02413/05

Projeto Cliente: DISSERTAÇÃO_CHA

Identificação da amostra:

TASQA: 05670/05

Cliente: SD02 - 5M

Matriz:

Coletado/Transportado por:

Data:

Coleta:

Recebimento:

Preparo:

Análise Cromatográfica:

Fator de Diluição:

Massa da Amostra (g):

Porcentagem de Sólidos:

Sólida

Cliente/Entregue TASQA

27/04/2005

06/05/2005

11/05/2005

11/05/2005

3,42

4,00

73

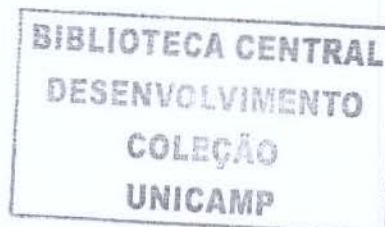
Parâmetro	[CAS]	Corrida N° 009	Limite de Quantificação
			µg/kg
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	1,0
BTEX Total		< LQ	

LQ = Limite de Quantificação

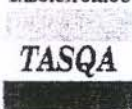
Surrogate - Recuperação			
	[CAS]	Corrida N° 009	
			%
4-Bromofluorbenzeno	[460-00-4]		102

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.


LABORATÓRIOS



TASQA Serviços Analíticos Ltda

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 - Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

Resultados Analíticos

BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

CNPJ / CPF: 46068425000133

Endereço: Rua Cândido Portinari, 65

Contato: Charles S. Silva

Fone / Fax: (21) 8124-2523 /

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 02413/05

Projeto Cliente

QC referente a análise da amostra 05670/05

Matriz: Sólida

Data da Extração: 11/05/2005

Data da Análise Cromatográfica: 11/05/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 001	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/kg		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	43,4	109
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	45,3	113
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	43,1	108
m+p-Xileno	[106-38-3]+[106-42-3]	<LQ	40,0	42,7	107
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	41,3	103
BTEX Total				215,87	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/kg)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
b) análise EPA 8015D - HRGC-FID

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

José Marcos Santana
CRQ 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 16/05/2005

Protocolo Nº 02413/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos

LABORATÓRIOS**TASQA****TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 07.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos
BTEX via GC**

Cliente: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

CNPJ / CPF: 46068425000133

Endereço: Rua Cândido Portinari, 65

Contato: Charles S. Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 02413/05

Projeto Cliente: DISSERTAÇÃO_CHA

Identificação da amostra:

TASQA: 05671/05

Cliente: SD03 - 4M

Matriz:

Coletado/Transportado por:

Sólida

Cliente/Entregue TASQA

Datas

Coleta:

27/04/2005

Recebimento:

06/05/2005

Preparo:

11/05/2005

Análise Cromatográfica:

11/05/2005

Fator de Diluição:

3,61

Massa da Amostra (g):

4,00

Porcentagem de Sólidos:

69

Parâmetro	[CAS]	Corrida Nº 010	Limite de Quantificação
µg/kg			
Benzeno	[71-43-2]	< LQ	1,0
Tolueno	[108-88-3]	< LQ	1,0
Etilbenzeno	[100-41-4]	< LQ	1,0
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	< LQ	1,0
o-Xileno	[95-47-6]	< LQ	1,0
BTEX Total		< LQ	

LQ = Limite de Quantificação

Surrogate - Recuperação

[CAS]	Corrida Nº 010
%	
4-Bromofluorbenzeno [460-00-4]	96

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente à amostra analisada

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

LABORATÓRIOS

TASQA**TASQA Serviços Analíticos Ltda**

CGC 67.994.897/0001-97

Praça 28 de Fevereiro, 55 - Nova Paulínia

CEP 13140-000 Paulínia - SP

Fone / Fax: (0xx19) 3874-1267

Home Page: <http://www.tasqa.com.br>**Resultados Analíticos**
BTEX - Controle de Qualidade (QC)

Cliente: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

CNPJ / CPF: 46068425000133

Endereço: Rua Cândido Portinari, 65

Contato: Charles S. Silva

Fone / Fax:

Objetivo: Determinação de BTEX

Projeto TASQA: 02413/05

Projeto Cliente: DISSERTAÇÃO_CHA

QC referente a análise da amostra 05671/05

Matriz: Solida
Data da Extração: 11/05/2005
Data da Análise Cromatográfica: 11/05/2005

Parâmetro	[CAS]	Branco Corrida Nº 001	Quantidade Adicionada	Quantidade Recuperada Corrida Nº 002	Recuperação
			µg/kg		%
Benzeno	[71-43-2]	<LQ	40,0	43,4	109
Tolueno	[108-88-3]	<LQ	40,0	45,3	113
Etilbenzeno	[100-41-4]	<LQ	40,0	43,1	108
m+p-Xileno	[108-38-3]+[106-42-3]	<LQ	40,0	42,7	107
o-Xileno	[95-47-6]	<LQ	40,0	41,3	103
BTEX Total				215,87	

LQ = Limite de Quantificação (1µg/kg)

NA = Não Avaliável, devido a presença de interferentes provenientes da matriz.

Métodos utilizados de: a) extração EPA 5021 - Headspace
b) análise EPA 8015D - HRGC-FID

NOTA: PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTE DOCUMENTO.

Aprovado por:

José Marcos Santana
CRO 04214660 - 4ª Região
santana@tasqa.com.br

Data: 16/05/2005

Protocolo Nº 02413/05

Página 2 de 2

ANEXO III: Resultados Analíticos